

Aus der Augenklinik und Poliklinik  
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Enklavationsanalyse retropupillar iris-fixierter Linsen (Artisan<sup>®</sup>/Verisyse<sup>®</sup>) mittels  
OCT

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der  
Medizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Charlotte Frederike Gross  
aus Püttlingen

Mainz, 2022

Tag der Promotion:

12. Juli 2022

# Widmung

Meiner Familie

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Literaturdiskussion</b>	<b>13</b>
5.1	<b>Sozioökonomische Bedeutung der Linsen Chirurgie</b>	<b>13</b>
5.2	<b>Die natürliche Linse</b>	<b>14</b>
5.2.1	Anatomie	14
5.2.2	Optischer Apparat	17
5.3	<b>Geschichte der Refraktiven Chirurgie</b>	<b>18</b>
5.4	<b>Intraokulare Linsen</b>	<b>19</b>
5.4.1	Vorderkammerlinsen	19
5.4.2	Hinterkammerlinsen	19
5.4.2.1	Sulcus- und Sklerafixierte Linsen	20
5.4.2.2	Irisfixierte Linsen (Irisklauenlinsen)	20
5.5	<b>Indikationen zur retroiridal fixierten Hinterkammerlinse</b>	<b>24</b>
5.5.1	Katarakt	24
5.5.2	Traumatisch bedingte Schäden	24
5.5.3	Pseudoexfoliationssyndrom	25
<b>6</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>26</b>
6.1.1	Materialbeschaffenheit und technische Daten	27
6.1.2	Linsenoptik und Linsenhaptik	28
6.1.3	Berechnung der Kunstlinsenstärke	29
6.1.4	Voraussetzungen und Kontraindikationen	30
6.1.5	Operationstechnik	31
6.1.6	Komplikationen	34
6.2	<b>Optische Kohärenztomographie (OCT)</b>	<b>34</b>
6.2.1	Physikalische Grundlagen	35
6.2.2	Anwendung und Vorteile	37
6.3	<b>Postoperative Mikromorphometrie</b>	<b>39</b>
6.4	<b>Datenauswertung</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>43</b>
7.1	<b>Patientenkollektiv</b>	<b>43</b>
7.1.1	Alters- und Geschlechtsverteilung	43

7.1.2 Diagnosen.....	45
<b>7.2 Augenbezogene Daten .....</b>	<b>45</b>
7.2.1 Geschlechterverteilung und Lokalisation .....	45
7.2.2 Achsenlänge .....	46
7.2.3 Vorderkammertiefe .....	46
7.2.4 Linsenstärke .....	47
<b>7.3 Operationsbezogene Daten.....</b>	<b>47</b>
<b>7.4 Enklavation der Haptiken .....</b>	<b>48</b>
7.4.1 Longitudinale Darstellungsebene .....	49
7.4.2 Transversale Darstellungsebene .....	55
7.4.3 Zusammenhangsanalyse.....	61
<b>8 Diskussion .....</b>	<b>74</b>
<b>9 Limitationen .....</b>	<b>83</b>
<b>10 Schlusswort .....</b>	<b>85</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>
<b>12 Danksagung .....</b>	<b>97</b>

## 1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Querschnitt des Auges .....	14
Abbildung 2: Schnitt durch den Kammerwinkel.....	15
Abbildung 3: Struktur der Iris.....	16
Abbildung 4: Dioptrischer Apparat des Auges .....	17
Abbildung 5: Detailansicht der Enklavation der Irisfalte in die Haptiken bei Implantation in die Vorderkammer .....	22
Abbildung 6: Design der Verisyse® (hier: Standard Artisan® Aphakia IOL).....	26
Abbildung 7: Endgültige Lage der Verisyse® im Auge .....	27
Abbildung 8: Konstruktion und Maße der Standard Artisan®/Verisyse® .....	29
Abbildung 9: Implantationspinzetten nach Sekundo (a,b) und Ophtec (c) .....	32
Abbildung 10: Enklavationsnadel nach Sekundo (a) und Ophtec (b).....	32
Abbildung 11: OP-Schritte Implantation einer Verisyse® .....	33
Abbildung 12: SD-OCT-Messgerät von Heidelberg Engineering .....	35
Abbildung 13: Prinzip der OCT-Technologie / Time-Domain-OCT .....	36
Abbildung 14: OCT-Darstellung der Netzhaut.....	37
Abbildung 15: Enklavation der Verisyse® in longitudinaler Ansicht.....	40
Abbildung 16: Enklavation der Verisyse® in transversaler Ansicht .....	41
Abbildung 17: Ablaufschema Arbeit .....	41
Abbildung 18: Altersverteilung .....	44
Abbildung 19: Achsenlänge .....	46
Abbildung 20: Vorderkammertiefe.....	46
Abbildung 21: Linsenstärke in Dioptrie.....	47
Abbildung 22: Operationsdauer .....	47
Abbildung 23: Messung der Breite des Gewebeteils hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr.....	49
Abbildung 24: Messung der Tiefe des Gewebeteils hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr.....	50

Abbildung 25: Messung des Versatz der Haptiken mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr .....	51
Abbildung 26: Messung der Distanz Tangente höchste benachbarte Punkte auf Iris zu tiefstem Punkt des enklavierten Gewebes mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte bei 9 Uhr und 3 Uhr .....	52
Abbildung 27: Messung der Dicke des Irispigmentepithels beidseits der Enklavation auf je drei Punkten mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte bei 9 Uhr und 3 Uhr rechtes und linkes Auge (unten).....	53
Abbildung 28: Messung der Gewebsmächtigkeit des Irisstromas an stärkster Position jeweils beidseits der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte im Vergleich 9 und 3 Uhr und rechtes zu linkem Auge (unten).....	54
Abbildung 29: Messung des Irisstromas hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr .....	55
Abbildung 30: Messung des Irisstroma vor der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr (links) und 3 Uhr (rechts) .....	56
Abbildung 31: Messung der Distanz innere Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr.....	57
Abbildung 32: Messung der Höhe der Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr (links) und 3 Uhr (rechts).....	58
Abbildung 33: Messung der Höhe der Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse (unten) ...	59
Abbildung 34: Messung der Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebe hinter der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebisse auf 9 Uhr und 3 Uhr .....	60
Abbildung 35: Zusammenhang von Vorderkammertiefe und Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes .....	61
Abbildung 36: Zusammenhang Linsenstärke in dpt und Versatz der Haptiken in longitudinaler Ansicht .....	62
Abbildung 37: Zusammenhang Linsenstärke in dpt und Distanz zum Pupillarsaum .	63
Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Alter und Breite des Gewebeteils hinter der Haptik .....	64
Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndrom und größerer Irisepitheldicke an zwei Messpunkten .....	65
Abbildung 40: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndrom und größerer Gewebsbreite hinter der Enklavation .....	66

Abbildung 41: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndroms und Gewebsmächtigkeit neben der Haptik bei 3 Uhr in longitudinaler Ansicht.....	66
Abbildung 42: Messpunkte 4 und 6.1 im Longitudinalschnitt .....	67
Abbildung 43: Einfluss vorangegangenes Trauma auf Gewebedicke neben der Haptik .....	67
Abbildung 44: Einfluss vorangegangenes Trauma auf Distanz der Tangente höchste benachbarte Punkte auf der Iris zu tiefstem Punkt des enklavierten Gewebes .....	67
Abbildung 45: Messpunkte 2,4, 5.1 und 5.3 im Transversalschnitt.....	68
Abbildung 46: Einfluss Trauma auf die Gewebedicke vor der Haptik .....	68
Abbildung 47: Einfluss Trauma auf die Dicke des Irispigmentepithel bei 9 Uhr.....	68
Abbildung 48: Einfluss Trauma auf die Dicke des Irispigmentepithel bei 3 Uhr.....	69
Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Trauma und Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation .....	69
Abbildung 50: Messpunkte 1, 2,3, 5.3 und 6 im Transversalschnitt.....	70
Abbildung 51: Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes hinter der Enklavation im Vergleich 9 und 3 Uhr und rechtes zu linkem Auge.....	70
Abbildung 52: Vergleich der Distanzen innere Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge .....	71
Abbildung 53: Vergleich der Irispigmentepitheldicken 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge .....	71
Abbildung 54: Vergleich der Gewebedicke vor der Haptik 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge.....	72
Abbildung 55: Gewebemächtigkeit des Irisstromas hinter der Haptik im Vergleich rechtes und linkes Auge .....	73
Abbildung 56: Größte Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb Enklavation im Vergleich rechtes und linkes Auge.....	73

## 2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geschlechterverteilung.....	44
Tabelle 2: Altersverteilung nach Geschlechtern.....	44
Tabelle 3: Relevante Vorerkrankungen der Augen .....	45
Tabelle 4: Operierte Augen nach Geschlecht und Lokalisation .....	45
Tabelle 5: Vergleich Enklavation rechtes und linkes Auge gleicher Patient.....	72

### 3 Abkürzungsverzeichnis

ACIOL	Anterior Chamber Intraocular Lens
BVA	Bundesverband Deutscher Augenärzte
dpt	Dioptrien
ECCE	Extracapsuläre Cataract Extraction
FD-OCT	Fourier-Domain optische Kohärenztomographie
HKL	Hinterkammerlinse
ICCE	Intracapsuläre Cataract Extraction
ICL	Implantierbare Kontaktlinse
IOL	Intraokularlinsen
LASIK	Laser in situ Keratomileusis
OCT	Optical Coherence Tomography
OP	Operation
PCIOL	Posterior Chamber Intraocular Lens
PEX	Pseudoexfoliationssyndrom
pIOL	phake Intraokularlinse
PMMA	Polymethylmetacrylat
PRK	Photorefraktive Keratotomie
RLA	Refraktiver Linsentausch
SD-OCT	Spektral-Domain optische Kohärenztomographie
SRKT	Sanders-Retzlaff-Kraff Theoretik
TD-OCT	Time-Domain optische Kohärenztomographie
VKL	Vorderkammerlinse
VKT	Vorderkammertiefe
WHO	World Health Organisation

## 4 Einleitung

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine optimale Lebensqualität stellt eine gute Sehfähigkeit dar, was das menschliche Auge zu einem unserer wichtigsten Sinnesorgane macht. Insbesondere die Linsen Chirurgie mit dem Einsatz künstlicher Linsen hat die Augenheilkunde dabei in den letzten Jahrzehnten revolutioniert und die Lebensqualität vieler Menschen verbessert. Neben der Katarakt mit jährlich etwa 800.000 bis 1.000.000 Eingriffen in Deutschland (Auffahrt 2018) kommen weitere Indikationen zur Kunstlinse wie traumatische Linsenschädigungen oder angeborene Krankheiten mit instabilen Linsenverhältnissen in Frage (Kuchenbecker 2017). Die durch die Entfernung der eingetrübten oder instabilen Linse resultierende Aphakie wird mittels einer Intraokularlinse behoben, bei der eine optimale Ausrichtung und Fixierung für den Operationserfolg maßgeblich ist (Auffahrt 2018). Neben den Erstimplantationen stellt auch die beobachtete Zunahme an IOL-Sub-/Luxationen eine Indikation zum Austausch der IOL und Implantation einer neuen Kunstlinse dar (Kuchenbecker 2017).

Lange Zeit galten bei fehlendem Kapselsack Vorderkammerlinsen als Mittel der Wahl. In den letzten Jahren werden daher neben nahtfixierten Hinterkammerlinsen zunehmend auch Irisklauenlinsen wie die Verisyse® oder Artisan® verwendet, die in die Hinterkammer implantiert und deren Haptiken im Irisgewebe enklaviert und somit fixiert werden. Die retropupillare Implantation der iris-fixierten Intraokularlinse (IOL) stellt seit 2002 eine minimalinvasive Standardprozedur als primäre oder sekundäre Operation zur Korrektur der Aphakie dar (Häberle et al 2014). Eine standardisierte Implantationstechnik, eine niedrige Komplikationsrate, die komplette Unabhängigkeit von den verbleibenden Kapselsackstrukturen, ein gutes visuelles und refraktives Ergebnis sowie niedrige Endothelzellverluste zeichnen dieses Verfahren aus.

Ob die Ergebnisse jedoch ebenfalls standardisiert sind, wurde bislang kaum untersucht. Eben diese Untersuchung ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Insbesondere stellt sich die Frage, ob die standardisierte Implantationstechnik auch zu gleichen Enklavationsmustern führt und ob stets alle Gewebeschichten der Iris erfasst werden.

Anstatt die Enklavation der Linse indirekt an der Spaltlampe zu evaluieren, erfolgte erstmals bei größerer Fallzahl postoperativ - als retrospektive konsekutive klinische

Fallserie - eine mikrometergenaue Analyse der Enklavation im Irisgewebe mittels der Spektral-Domain optischen Kohärenztomographie (SD-OCT).

Parameter wie etwa der Durchmesser des Irisgewebes vor und hinter den Haptiken, die Dicke der Irisfalte, die Länge der Verankerung im Irisgewebe und die Dicke des Pigmentepithels wurden so vermessen.

Die gewählten Messpunkte geben erstmals einen präzisen Überblick darüber, wie gut die Haptiken einer irisfixierten IOL im Irisgewebe verankert sind, ob stets alle Gewebsschichten der Iris erfasst werden und auch ob die Verankerung den Angaben der Hersteller entspricht.

So lassen sich neuartige Erkenntnisse und Einflussfaktoren über den intrastromalen Verlauf und den Greifpunkt der Branchen im Irispigmentepithel und -stroma gewinnen - insbesondere um Risiken für eine mögliche Subluxation zu erkennen. Weitere Forschungen sollten untersuchen, inwieweit Abweichungen von einem standardisierten Enklavationsmuster Einfluss auf einen sicheren Sitz und die Stabilität einer IOL-Implantation nehmen können, beziehungsweise das Risiko für eine Dislokation erhöhen. So kann auch untersucht werden, ob in Abhängigkeit der Implantationsindikation unterschiedliche Enklavationsmuster gewählt werden sollten oder ob ein Enklavationsschema für alle Indikationen ausreicht.

Die für diese Arbeit notwendigen OCT Untersuchungen wurden routinemäßig anlässlich der post-operativen Betreuung der Patienten durchgeführt und konnten im Rahmen dieser retrospektiven Arbeit analysiert und ausgewertet werden. Die Vermessung der Enklavationsgeometrie erfolgte dabei mittels des Eye Explorers® von Heidelberg Engeneering®.

Die Messpunkte bei der Enklavation und andere Werte zeigen in der vorliegenden Arbeit eine hohe Übereinstimmung zwischen den Patienten. Die erhaltenen Daten können so als Grundlage einer Referenz genommen werden, anhand derer der optimale Sitz einer IOL postoperativ überprüft werden kann.

## **5 Literaturdiskussion**

### **5.1 Sozioökonomische Bedeutung der Linsenchirurgie**

In den letzten Jahrzehnten hat die Linsenchirurgie eine immer größere Bedeutung erlangt. Die steigende Lebenserwartung und eine damit verbundene alternde Gesellschaft führen bei fast allen Organsystemen auch zu einem erhöhten Bedarf an alters- und krankheitsbedingten Eingriffen, um die zunehmenden Einschränkungen zu kompensieren. Gerade im Bereich der Linsenchirurgie wurden in der Vergangenheit große Fortschritte erzielt, die die Lebensqualität der Betroffenen erheblich verbessern.

Die zunehmende Trübung der Augenlinse im Laufe des Alters, die Katarakt, ist heute Indikation für den häufigsten Eingriff in der gesamten Humanmedizin. Jährlich wird die Zahl der Katarakteingriffe auf etwa 800.000 bis 1.000.000 in Deutschland geschätzt (Chalkiadakis et al 2016). Dazu kommen Eingriffe zur Korrektur von hohen Brechkraftfehlern bei Weit- und Kurzsichtigkeit und ein Linsenersatz bei traumatischen Ereignissen oder angeborenen Erkrankungen. Die Kosten des Eingriffs liegen bei ca. 2.000.- Euro pro Auge.

Über 90% der Menschen zwischen 65 und 75 Jahren haben eine sichtbare Linsentrübung (BVA 2020). Eine Studie in London ergab, dass etwa 30% der Bevölkerung über 65 Jahre unter einer Einschränkung der Sehkraft aufgrund einer Katarakt leiden, wobei die Prävalenz mit dem Alter deutlich zunimmt. So leiden 71% der über 85-Jährigen unter einem Sehkraftverlust aufgrund einer Katarakt, was die Dimension des sozioökonomischen Problems verdeutlicht (Reidy et al 1998).

## 5.2 Die natürliche Linse

### 5.2.1 Anatomie

Das menschliche Auge mit seinem Augapfel liegt geschützt und eingebettet in der knöchernen Augenhöhle (Orbita) des Gesichtsschädels (Viszerocraniums). Der Augapfel hat dabei eine durchschnittliche Länge von ca. 24 mm (Grehn 2012).

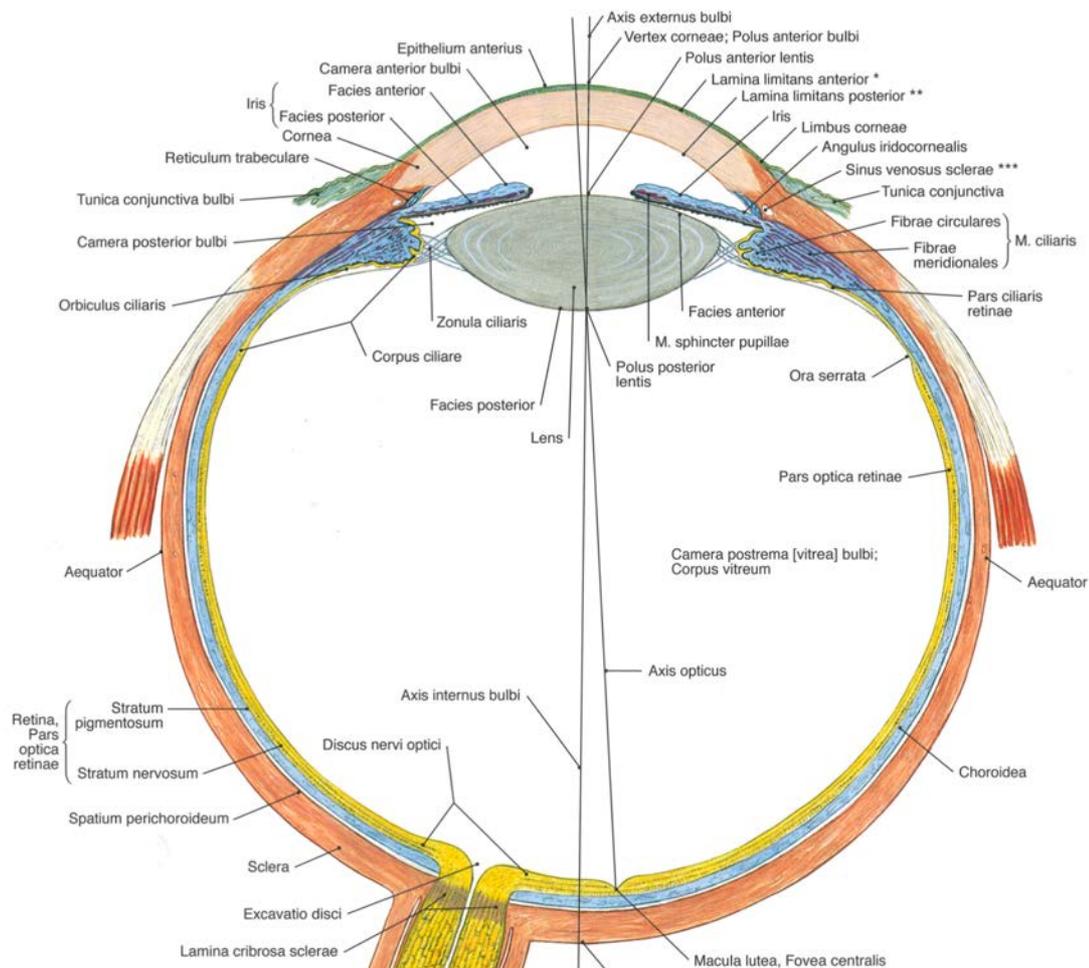
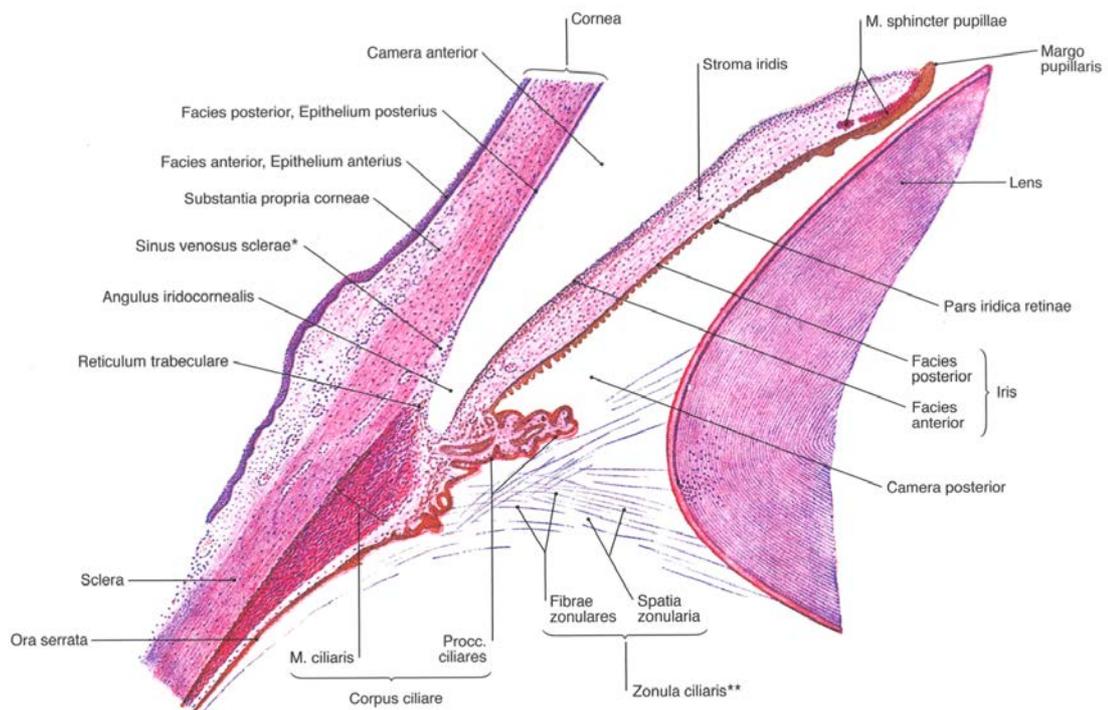


Abbildung 1: Querschnitt des Auges (Putz und Papst 2017)

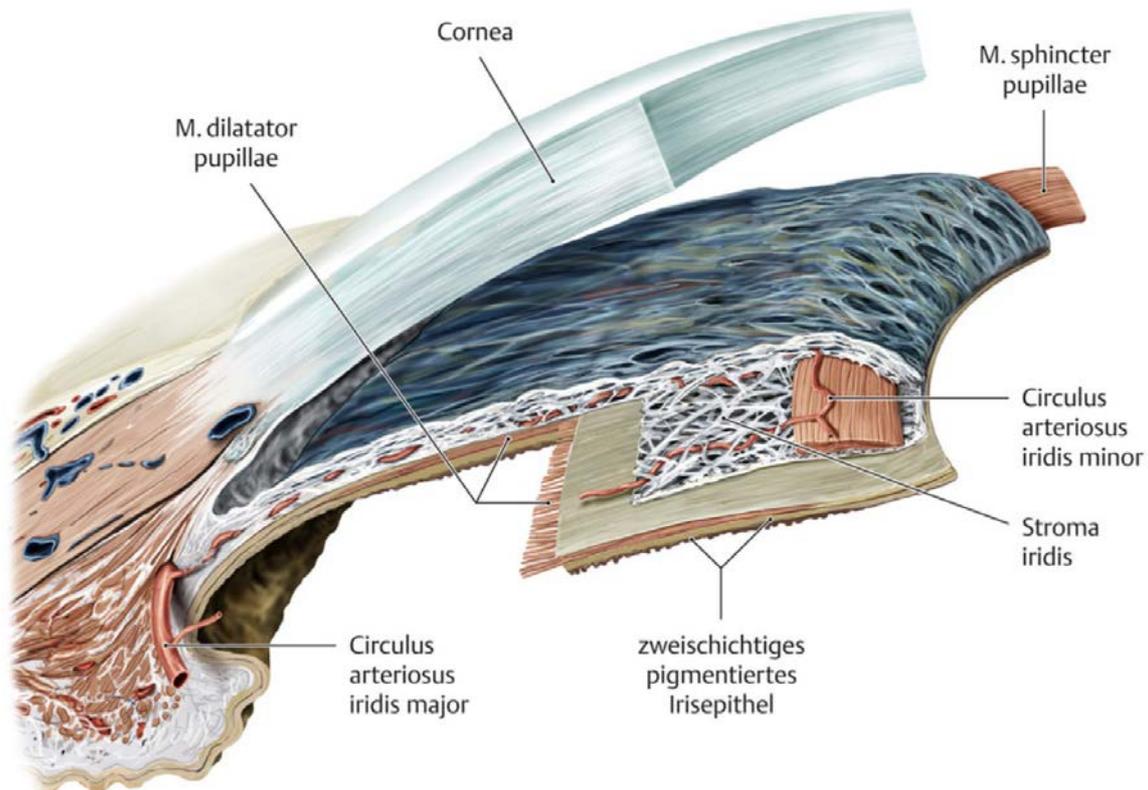
Die äußere kugelförmige Hülle des Auges wird durch die durchsichtige Hornhaut (Cornea) und die weiße Lederhaut (Sklera) gebildet, wobei die Hornhaut einen etwas kürzeren Radius als der restliche Bulbus hat und dadurch wie ein Uhrglas in die Wandung eingefügt ist. Hinter der Cornea liegt die vordere Augenkammer, die von der Hornhauthinterfläche und der Irisvorderfläche - bzw. im Bereich der Pupille von der Linsenvorderfläche - begrenzt wird. Die hintere Augenkammer liegt zwischen der Irishinterfläche und der Linsenvorderfläche und wird seitlich durch den Ziliarkörper

(Corpus ciliare) und den davon ausstrahlenden Zonulafasern (Zonula zinnii) begrenzt. Die Linse liegt zwischen der Iris und dem Glaskörper (Corpus vitreum). Sie ist dabei in der Mitte des kreisförmigen Ziliarkörpers mit seinen Zonulafasern aufgehängt. Die ca. 10-12mm breite und 2-5mm dicke Linse besteht aus der Linsenkapsel (Capsula lentis), der Linsenrinde (Cortex lentis) und dem Linsenkern (Nucleus lentis). Sie enthält keinerlei Blutgefäße oder Nerven und wird vom Kammerwasser umspült und versorgt. Die Linse besteht mit einem Proteingehalt von 35% zu großen Teilen aus Eiweiß (Grehn 2012, Kanski 2003).



*Abbildung 2: Schnitt durch den Kammerwinkel*  
(Putz und Papst 2017)

Die Iris, die ihre individuelle Farbe durch eingelagerte Pigmente erhält, ist die Blende des Auges, die die Pupille begrenzt. Sie verfügt über eine ringförmige, glatte Muskulatur, die die Pupille entweder verengt oder erweitert. Die Iris ist aus zwei Schichten aufgebaut, dem vorne gelegenen Irisstroma und dem an der Hinterseite aufliegenden zweischichtigen pigmentierten Irisepithel (Pars iridica retinae). Das Gefäßnetz der Iris verfügt über eine radiäre Ausrichtung und sektorielle Verteilung (Schulte et al 2009).



*Abbildung 3: Struktur der Iris*  
(Schulte et al 2009)

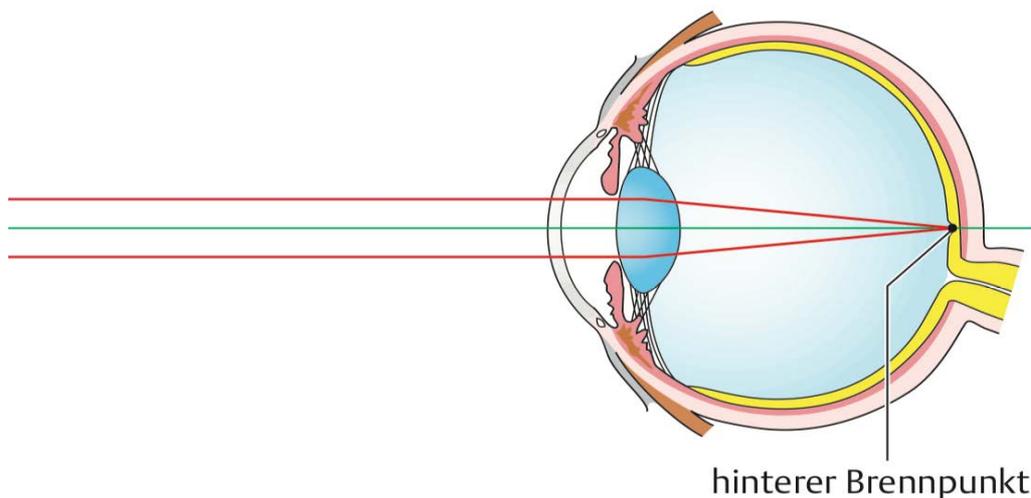
Die in dieser Arbeit untersuchte Irisklauenlinse wird retroiridal implantiert und mit ihren Haptiken im Irisstroma enklaviert. Die Enklavationshaptik ist dabei in dem mittleren, praktisch immobilen Teil der Iris gelegen, der sich nicht bei der Dilatation der Pupille bewegt. Äußerst selten können bei der Implantation Nerveneinklemmungen beobachtet werden, die dann aber durch geringfügige Korrekturen behoben werden können. Im Falle einer Endarterienkompression kann auch der Stoffwechsel beeinflusst werden und ein Irisinfarkt resultieren. Kammerwinkelgestützte Linsen weisen im Gegensatz zu den Irisklauenlinsen durch die anatomische Lage bedingt mehr Komplikationen auf.

Durch die Bauweise und den Fixationsmechanismus weist die Irisklauenlinse mehrere weitere positive Eigenschaften auf. Dazu gehören eine druckfreie Enklavation, ideale Dilatation, Reversibilität, Verhinderung einer endothelialen Berührung und bei korrekter Operationstechnik die Vermeidung einer Irisatrophie (Ophtec 2010).

## 5.2.2 Optischer Apparat

Die natürliche Linse gehört zusammen mit der Hornhaut, dem Kammerwasser in der vorderen und hinteren Augenkammer und dem Glaskörper zu dem lichtbrechenden Teil des menschlichen Auges, der auch als optischer oder dioptrischer Apparat bezeichnet wird. Das Auge besitzt durch diese Strukturen eine Gesamtbrechkraft von ca. 59 dpt, mit denen das einfallende Licht auf der Netzhaut fokussiert wird. Das auffallende Licht lässt auf der Retina ein umgekehrtes und verkleinertes Bild entstehen (Huppelsberg und Walter 2013).

Den größten Anteil an der Brechkraft hat die Hornhaut mit ca. 43dpt, die normale Linse hat durch die Möglichkeit zur Brechkraftänderung eine Brechkraft zwischen 19 und 34 dpt (Akkommodationsbreite). Möchte man einen Gegenstand aus der Nähe betrachten und fokussiert das Auge, kommt es zur Kontraktion des Ziliarmuskels und zur Entspannung der Zonulafasern, so dass dann die Linse aufgrund ihrer Eigenelastizität runder wird und die Brechkraft zunimmt. Beim Blick in die Ferne werden der Ziliarmuskel entspannt, die Zonulafasern gespannt und die Linse flacher, was zu einer geringeren Brechkraft führt. Die Akkommodationsbreite ist abhängig von Alter und Elastizität der Linse und beträgt etwa 0-15dpt (Huppelsberg und Walter 2013).



*Abbildung 4: Dioptrischer Apparat des Auges*  
(Huppelsberg und Walter 2013)

Mit zunehmendem Alter verliert die Linse vor allem durch den Rückgang des Wassergehaltes ihre Elastizität und damit die Akkommodationsbreite. Es kommt

dann zur so genannten Presbyopie (Alterssichtigkeit) mit einer verringerten Möglichkeit zur Fokussierung (Huppelsberg und Walter 2013).

### **5.3 Geschichte der Refraktiven Chirurgie**

Als refraktive Chirurgie werden Operationen zur dauerhaften Korrektur von Abbildungsfehlern des menschlichen Auges bezeichnet. Mit den Operationen wird die Gesamtbrechkraft des Auges verändert und damit individuelle Fehlsichtigkeiten behoben. Ein Teilgebiet der refraktiven Chirurgie befasst sich mit dem Einsatz von Kunstlinsen (Kohnen et al 2008). Die ersten Kunstlinsen wurden 1949 von dem englischen Augenarzt Harold Ridley eingesetzt. Ridley behandelte während des zweiten Weltkrieges Piloten der Royal Air Force, die Splitter von geborstenen Plexiglasscheiben im Auge hatten. Da dort keine Immunreaktion stattfand, ging Ridley davon aus, dass es auch möglich sein muss, künstliche Linsen bei einer Linsentrübung einzusetzen (Auffahrt und Apple 2001). Bis dahin wurde die Katarakt durch intra-kapsuläre Extraktion der getrübten Linse behandelt – mit konsekutiver Aphakie.

Eine Aphakie kann grundsätzlich zwar auch mit Kontaktlinsen und Starbrillen korrigiert werden. Für den Patienten weitaus komfortabler ist jedoch die operative Korrektur der Linsenlosigkeit durch den Einsatz einer Intraokularlinse (Poy Raiturcar et al 2019). Die Entwicklung von sicheren und effektiven IOLs zur Behandlung der Aphakie stellt einen großen Erfolg der modernen Augenheilkunde dar (Wagoner et al 2003). Die Wahl der Lokalisation der IOL im Falle eines fehlenden Kapselsackes hängt vor allem von dem präoperativen Augenstatus ab. Prinzipiell stehen mehrere Verfahren mit spezifischen Vor- und Nachteilen zur Verfügung. Bei Implantation in die Vorderkammer kommen entweder kammerwinkelgestützte oder irisclipfixierte Vorderkammerlinsen zum Einsatz. In der Hinterkammer werden sulcusfixierte, irisfixierte, skleranahtfixierte oder irisclipfixierte Hinterkammerlinsen eingesetzt (Besgen and Sekundo 2017, Choragiewicz et al 2016, Dick and Augustin 2001).

Nachdem in den letzten Jahrzehnten bei den Vorderkammerlinsen aufgrund der anatomischen Lage der Linse zunehmend auch schwere Komplikationen beobachtet werden konnten, wurden immer mehr Techniken entwickelt, bei denen die Linse retroiridal in der Hinterkammer implantiert wird (Dick and Augustin 2001).

In dieser Arbeit wird die Enklavation der Haptiken einer retroiridal eingesetzten Hinterkammerlinse in das Irisstroma untersucht.

## **5.4 Intraokulare Linsen**

### **5.4.1 Vorderkammerlinsen**

Vorderkammerlinsen werden vor der Iris implantiert. Sie werden je nach Fixation in kammerwinkelgestützte und irisgetragene Vorderkammerlinsen unterteilt.

Die in den 50er und 60er Jahren entwickelten kammerwinkelgestützten Vorderkammerlinsen stützen sich mit ihren Haptiken im Kammerwinkel ab. Durch die anatomisch bedingte unmittelbare Nähe der implantierten Linse zum Hornhautendothel kann es durch die ständige Reizung der Endothelzellen zu einer Eintrübung der Hornhaut kommen, so dass eine Entfernung der Linse notwendig werden kann. Trotz Weiter- und Neuentwicklungen im Bereich der Herstellungsprozesse und des Designs konnte diese relativ häufige und schwerwiegende Komplikation nicht vermieden werden. Daneben kann es durch die im Kammerwinkel verankerten Haptiken zu Veränderungen des Kammerwinkels mit Abflussstörungen des Kammerwassers und einem konsekutiven Sekundär-Glaukom kommen.

Irisgetragene Vorderkammerlinsen werden an der Iris fixiert und lassen somit zwar den Kammerwinkel unversehrt, das Risiko für mögliche Komplikationen am Hornhautendothel bleibt allerdings bestehen. Irisfixierte Vorderkammerlinsen können sowohl im phaken als auch im aphaken Auge eingesetzt werden.

Die Implantation von Vorderkammerlinsen ist schnell und sicher durchzuführen. Außerdem sind sie nach intrakapsulärer wie auch extrakapsulärer Kataraktextraktion einsetzbar. Trotz aller Weiterentwicklungen bestehen aber das Risiko der Endothelschädigung und das mögliche Auftreten von Kammerwinkelveränderungen weiterhin, so dass einige Kliniken mittlerweile weitgehend auf die Implantation von Vorderkammerlinsen verzichten. Hinterkammerlinsen sind im Vergleich, insbesondere im Langzeitverlauf, komplikationsärmer (Schmidt et al 2008, Ronski 2014, Auffahrt und Apple 2001).

### **5.4.2 Hinterkammerlinsen**

Um das Auftreten von Endothelschäden, Halos und Blendung zu vermeiden, wurden im weiteren Verlauf der Entwicklung vermehrt Linsen retroiridal in die Hinterkammer transplantiert (Güell et al 2010). Dabei gibt es in Abhängigkeit der vorhandenen

anatomischen Strukturen, der Erfahrung des Chirurgen und der verwendeten Linsenmodelle verschiedene Möglichkeiten zur Fixierung der Linsen.

#### 5.4.2.1 Sulcus- und Sklerafixierte Linsen

Die sulcusfixierte Linse wird unmittelbar hinter der Iris aufgespannt und stützt sich mit ihren Haptiken am Übergang der Irisrückseite auf den Ziliarkörper im Sulcus ciliaris ab. Sie benötigt zur Abstützung ausreichende Kapselreste. Die Operation ist relativ schnell und sicher durchführbar, da noch vorhandene Strukturen die Linse in Position halten. Weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, die Linse relativ einfach auszutauschen (Ronski 2014). Obwohl sulcusfixierte Hinterkammerlinsen einen größeren Inzisionsschnitt als kammerwinkelgestützte Vorderkammerlinsen benötigen, überwiegt der mögliche Nutzen einer Hinterkammerlinse durch Schonung der Kornea und bestehender Sickerkissen.

Wenn nun keine Kapselreste für die Befestigung einer Linse mehr zur Verfügung stehen, kann eine skleranahtfixierte oder eine irisfixierte IOL eingesetzt werden. Bei beiden Linsentypen muss vor der Implantation der Linse zumindest eine vordere Vitrektomie erfolgen. Die skleranahtfixierte Linse wird ebenfalls im Sulcus ciliaris platziert und dort durch eine Skleranaht in Position gehalten, damit sie nicht mangels fehlender Fixierung durch die Kapselreste disloziert. Die skleranahtfixierte Linse ist erste Wahl bei Vorliegen von Iriserkrankungen, bei denen eine Irisklauenlinse kontraindiziert ist (z.B. bei Diabetes mellitus, Uveitis oder Gefäßverschlüssen) (Ronski 2014).

#### 5.4.2.2 Irisfixierte Linsen (Irisklauenlinsen)

Die ersten irisfixierten Linsen wurden schon 1953 von Edward Epstein entwickelt und damals noch mit Nähten an der Irisvorderfläche befestigt. Durch die Art der Fixation suchte man nach einer Möglichkeit, eine Linse in die Vorderkammer einzusetzen, ohne dabei das Endothel zu schädigen. Doch auch bei den irisfixierten Vorderkammerlinsen kam es zu den entsprechenden Komplikationen wie Irispigmentepitheldefekten, Glaukomen und Komplikationen an der Kornea (Auffahrt und Apple 2001).

Die erste in die Iris geclipte Linse wurde 1957 von Blinkhorst entwickelt. Sie hatte insgesamt 4 Haptiken, von denen 2 vor und 2 hinter der Iris fixiert wurden. Das Linsendesign wurde dann von Fyodorow in Form der sog. "Sputnik-Linse" modifiziert,

die jeweils 3 Haptiken vor und hinter der Linse hatte. Eine weitere irisfixierte Linse wurde in den 60er-Jahren von Jan Worst entwickelt. Sie konnte mit Nähten in der Iris fixiert werden (Auffahrt und Apple 2001).

Nachdem auch diese Linsen zwar zu weniger Dislokationen, aber zu Erosionen des Irisgewebes und Probleme mit dem Hornhautendothel führten, entwickelte Worst mit der Iris Claw Lens eine neue Technik zur Irisfixation. Bei der auch "Lopster Claw" genannten Linse wird die Linse mit Hilfe zweier Schlitze in das Irisgewebe eingeklemmt. Blinkhorst entwickelte seine Linsen ebenfalls weiter und designte eine Zweischlingen-Iris-Clip-Linse zur iridokapsulären Fixation (Auffahrt und Apple 2001). 1986 wurde durch Fechner und Worst erstmals eine Irisklauenlinse in ein phakes Auge implantiert (Güell et al. 2010).

In den folgenden Jahren wurde auch in der 4. Generation der IOLs die Vorderkammerlinsen ständig weiterentwickelt und führten durch Material- und Designverbesserungen zu weniger Komplikationen. Nachdem auch die weiterentwickelte Form der Linse, die mittels kleiner Haken an den Haptiken in die Irisvorderfläche eingeclipt wurde (Irisklauenlinse), zu den für Vorderkammerlinsen typischen Komplikationen führte, hat sich in den letzten Jahren die retropupillare Implantation der Irisklauenlinse durchgesetzt (Maloney et al 2002).

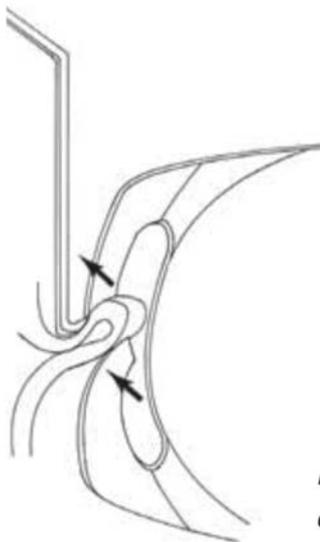
Den ersten Vorschlag zu einer retropupillaren Fixierung machte Amar bereits 1982 (Mohr et al. 2002). Weil man einen Pigmentabrieb auf der Rückseite der Iris durch die Irisklauenlinse befürchtete, wurde diese Technik jedoch jahrelang nicht durchgeführt (Sekundo 2008).

2002 verwendeten Mohr et al erstmals eine Irisklauenlinse, die über die Vorderkammer durch die mydriatische Pupille retropupillar geschoben wurde. Die modifizierte Technik nach Amar (Rieck et al. 2007), bei der eine abgewinkelte Haptik für einen ausreichenden Abstand von der Rückseite der Iris sorgte, verhinderte damit auch den Pigmentabrieb (Mohr et al. 2002).

Mohr et al. fixierten als erste eine Irisklauenlinse retropupillar im Irisstroma und kombinierten somit die Vorteile einer Hinterkammerlinse mit denen einer Vorderkammerlinse (Mohr et al. 2002).

Die Linse wird dabei retroiridal mittels zweier sich gegenüberliegender Haptiken ins mittelperiphere Irisstroma enklaviert und schont somit Kammerwinkel, Gefäßstrukturen und das Hornhautendothel. Sie benötigt zur sicheren Implantation weder Kapselreste noch eine Naht und ist in den meisten Fällen problemlos auch bei vorgeschädigtem Auge einsetzbar. Voraussetzung sind lediglich eine intakte Iris und

eine Vitrektomie, um Platz zu schaffen und eine Luxation des Glaskörpers zu verhindern (Brockmann et al 2014). Das Verfahren gilt als standardisiert, schnell und atraumatisch. In vielen Studien zeigte sich die Überlegenheit der retropupillaren Fixation und die relativ geringe Komplikationsrate. Die Deenklavtionsrate bei den retropupillar fixierten Irisklauenlinsen liegt zwischen 0% und 10%, vor allem spontan traumatisch oder durch einen insuffizienten Halt im Stromagewebe verursacht (Brockmann et al 2014). Der Endothelzellverlust lag bei einer Untersuchung von Gicquel et al. mit 3,7% bei retropupillarer Fixation im Vergleich zu 19% bei Fixation in der Vorderkammer deutlich niedriger (Forlini et al 2015). Insbesondere bei Patienten mit PEX und Glaukom kann durch die retropupillare Fixation ein ausreichender Abstand von Winkelstrukturen und Hornhautendothel gewährleistet werden (Choragiewicz et al 2016).



*Abbildung 5: Detailansicht der Enklavation der Irisfalte in die Haptiken bei Implantation in die Vorderkammer (Ophtec 2010).*

Mögliche Komplikationen der Irisklauenlinse sind Reizzustände und Pupillenverziehungen durch eine nicht spannungsfreie Enklavation in das Irisstroma. Ist die Linse nicht korrekt und stabil enklaviert, kann es zu einer Dislokation der IOL bis in den Glaskörperraum kommen. Nicht eingesetzt werden sollte eine irisfixierte Linse bei allen Erkrankungen, die Auswirkungen auf die Iris haben (z.B. Diabetes, Uveitis, Atrophie der Iris, Aniridie, Gefäßverschlüsse) (Ronski 2014).

Die Dislokation der Haptiken ist eine seltene Komplikation, welche vornehmlich posttraumatisch oder aufgrund ungenügend enklavierten Gewebes auftreten kann.

So sollte der Fixationsort der Haptiken unversehrt und reizlos sein, um eine sachgerechte Befestigung zu ermöglichen. Im Falle einer dislozierten oder schlecht positionierten Verisyse® sollte frühestmöglich eine Reenklavation vorgenommen werden, um intraokuläre Reizzustände, Endothelzellverluste oder eine Lösung der Haptiken zu vermeiden (Cichocki and Kohnen 2009).

In einer 2011 veröffentlichten Studie kam es bei 116 Augen in der Zeitspanne von 5 Tagen bis 60 Monaten nach Implantation in 6% der Fälle zu einer Dislokation. Je später die Implantate eingesetzt wurden, desto geringer war die Dislokationsrate. Die Autoren führten dies auf Lernfortschritte der Operateure zurück (Chalkiadakis et al 2016). Auch Ostovic beobachtete bei 32 retropupillar fixierten Linsen in einem 20-monatigen Beobachtungsintervall eine überzeugende Stabilität (Ostovic and Kohnen 2011).

In einer retrospektiven 2015 veröffentlichten Studie, die insgesamt 320 Patienten und einen Beobachtungszeitraum von 10 Jahren umfasste, kam es in drei Fällen zu einer Dislokation der Linse aufgrund des Abgleitens einer der Irisklauenhaptiken und in nur einem Fall zu einer vollständigen hinteren Luxation. In jeweils einem Fall wurden eine Netzhautablösung und ein Makulaödem beobachtet, bei fünf Patienten trat eine Iridodonesis auf. Eine Veränderung der Endothelzelldichte konnte am Ende der Nachbeobachtungszeit nicht beobachtet werden (Forlini et al 2015). Der Hersteller empfiehlt in seinem Manual, circa 1 mm Irisgewebe zu erfassen, um das Risiko einer Subluxation zu minimieren (Ophtec 2010).

Zum Einsatz kommen in den meisten Untersuchungen, so auch in der vorliegenden Arbeit, das Modell Verisyse® oder Artisan®, eine PMMA Linse der Firma Ophtec® beziehungsweise Abbott Medical Optics®.

Retroiridal fixierte Irisklauenlinsen werden heute nicht als Primärlinsen eingesetzt. Sie werden bei besonderen anatomischen oder morphologischen Verhältnissen wie Kapseldefekten, Zonulaläsionen (Insuffizienz, Dehiszenz), bei postoperativ auftretenden Komplikationen wie Luxationen vorhandener IOLs auch als late- oder early-in-the-bag Dislokationen, nach Komplikationen bei Kataraktchirurgie oder als sekundäre Implantation bei einem aphaken Auge (z.B. nach Trauma) eingesetzt (Wolter-Roessler and Kühle 2008).

## **5.5 Indikationen zur retroiridal fixierten Hinterkammerlinse**

### **5.5.1 Katarakt**

Unter Katarakt versteht man eine meist langsame und schmerzlose Eintrübung der Augenlinse, die mit einer zunehmenden Einschränkung der Sehkraft durch Verlangsamung und Veränderung des Stoffwechsels auf kristalliner Ebene in der Linse einhergeht. Ca. 20 Millionen Menschen weltweit sind an einer Katarakt erblindet. (nach WHO-Klassifikation Definition der Sehschärfe = 0,05). Die Katarakt liegt damit bei den Ursachen für eine Blindheit weltweit mit 51% mit großem Abstand an der Spitze (Robert Koch Institut 2017).

Während bei unkomplizierten Kataraktoperationen lediglich der getrübte Anteil der Linse unter Erhalt des Kapselsacks entfernt werden muss und die Linse an anatomischer Stelle ersetzt wird, ist z.B bei Komplikationen wie Kapseldefekten, Linsensubluxationen bei Zonulaschwäche oder einer kongenitalen Katarakt der Einsatz einer irisfixierten Hinterkammerlinse zur Behebung einer Aphakie indiziert (Wolter-Roessler and Kühle 2008).

Häufige Indikation ist auch eine traumatisch bedingte Linsenluxation.

### **5.5.2 Traumatisch bedingte Schäden**

Während durch Arbeitsunfälle bedingte Verletzungen des Auges in den letzten 100 Jahren durch bessere Arbeitsbedingungen und zunehmende Sicherheitsstandards abgenommen haben (aktuell nur noch 25% der Augenverletzungen), verzeichnen Freizeitunfälle einen starken Anstieg. Insbesondere beim Fußball, Squash, Eishockey, Baseball und auch Golf kommt es zu teils gravierenden Verletzungen des Auges, die auch einen Ersatz der Linse notwendig machen können.

Die Linse wird bei Arbeits- wie bei Sportverletzungen vor allem durch ein Kontusions- oder Penetrationstrauma geschädigt. Es kann hier bei starkem Trauma sogar zu einer Linsenluxation in die Vorderkammer kommen. In vielen Fällen ist dann der Einsatz einer Kunstlinse erforderlich (Zierhut 2000).

Schmidt et al zeigte in einem Fallbeispiel nach stumpfen Bulbustrauma, wie ein Patient, der nach Einsatz einer VKL eine zunehmende Hornhautdekomensation und ein Makulaödem entwickelt hat, letztendlich erfolgreich mit einer retropupillar implantierten Verisyse® IOL versorgt wurde (Schmidt et al 2007).

### 5.5.3 Pseudoexfoliationssyndrom

Das erstmals 1917 durch Lindberg beschriebene Pseudoexfoliationssyndrom PEX tritt laut einer Studie von Ringvold et al. in Deutschland mit einer Prävalenz von 4,7% auf (Gouvianakis 2007). Es handelt sich um eine systemische, langsam fortschreitende, chronische Erkrankung des höheren Lebensalters, bei der es zu einer Ablagerung von fehlgefalteten Proteinen im vorderen Augenabschnitt und auch anderen Organen kommt (Konstas et al 1993). Im Rahmen des demographischen Wandels und einer damit einhergehend zunehmend älteren Patientenstruktur gewinnt das Pseudoexfoliations-Syndrom (PEX) stetig an Bedeutung. Die Ursachen des PEX sind weitgehend unbekannt. Neben einer verminderten Enzymaktivität, Entzündungsprozessen und oxidativem Stress konnten auch Mutationen im LOXL-1 Gen als wichtige genetische Disposition neben exogenen pro-fibrotischen Triggern ausfindig gemacht werden (Schlötzer-Schrehardt and Naumann 2012). Das Zusammenspiel aus einer Disbalance fibrogener Wachstumsfaktoren, reduzierter Proteasenaktivität, zellulärem Stress und entzündlichen Prozessen bildet die Grundlage der pathologischen Matrixentwicklung (Schlötzer-Schrehardt 2010). Beim PEX kann es in der Folge durch die Ab- und Einlagerung von feinfibrillärem Material zu Katarakt- und Glaukomentwicklung und auch Linsenluxationen wegen der ausgeprägten Zonulaschwäche kommen.

Das PEX kann sowohl eine Indikation zum Einsatz einer IOL sein (z.B. bei Kataraktentwicklung) als auch zu erheblichen Komplikationen bei Einsatz einer IOL aus anderer Indikation führen. So kann es infolge des PEX zu einer anterioren Kapsel­fibrose mit Schrumpfung des Kapselsacks und der Gefahr einer Zonulolyse mit Linsen(sub)luxationen kommen. Folge davon kann eine Dezentrierung der IOL sein. Das PEX-Syndrom ist über diesen Mechanismus für 50% der Subluxationen und Luxationen nach Implantation einer IOL verantwortlich (Nobl and Mackert 2019).

## 6 Material und Methoden

Die vorliegende Arbeit untersucht die Enklavation der Haptiken von Hinterkammerlinsen in das Irisstroma. In allen Fällen des untersuchten Patientenkollektivs kommt eine Irisklauenlinse der Fa. Ophtec zum Einsatz. Die Messung der Enklavation erfolgt mittels der Spektral-Domain optischen Kohärenztomographie (SD-OCT) der Firma Heidelberg Engineering.

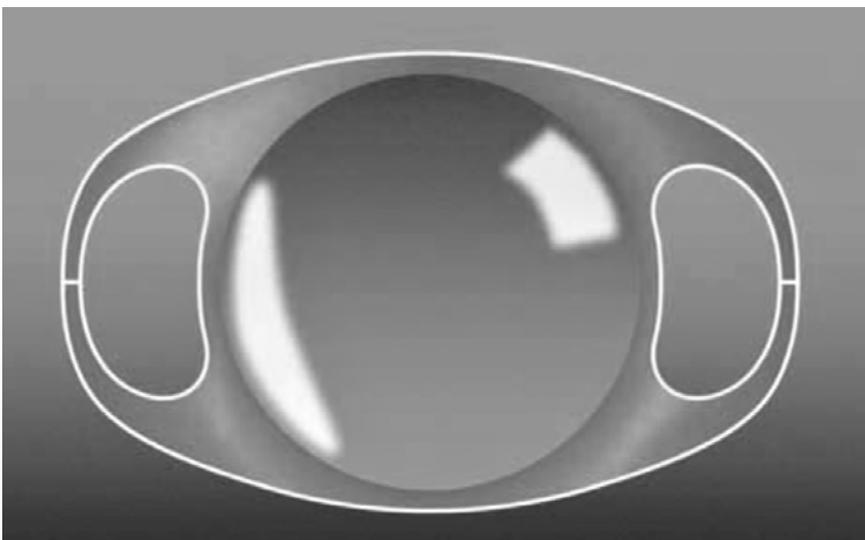
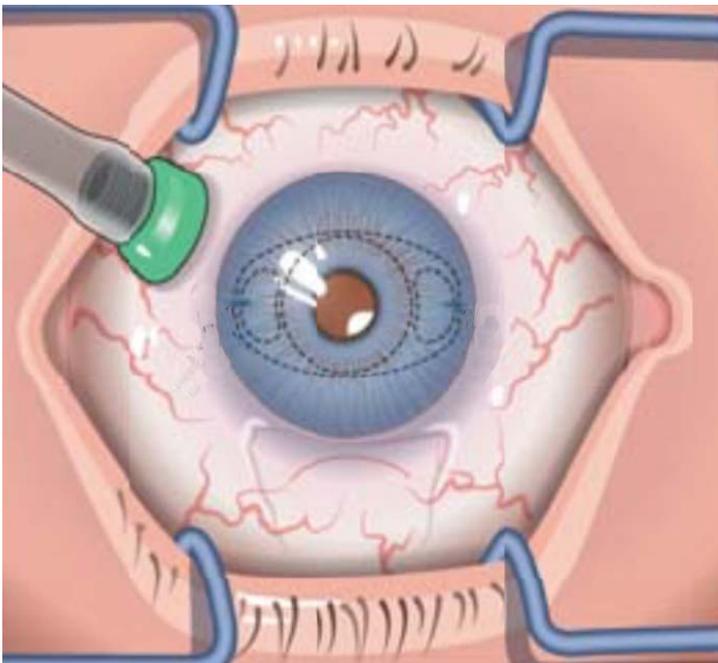


Abbildung 6: Design der Verisyse® (hier: Standard Artisan® Aphakia IOL) (Ophtec BV, 2010)

Die von der Firma Ophtec hergestellte Intraokularlinse wird unter dem Namen Artisan® oder Verisyse® vertrieben. Sie ist ein Implantat zum Ersatz der menschlichen Linse und dient so der Korrektur der Aphakie. Es stehen Varianten der Linse für phake, astigmatische, myope oder hyperope Augen zu Verfügung (Ophtec BV, 2010). Bei der in dieser Studie hauptsächlich verwendeten Intraokularlinse des Typs VRSA 54 handelt es sich um eine einteilige Iris-Klauenlinse. Laut Herstellerangaben sind diese sowohl für die primäre als auch sekundäre Implantation nach ICCE, ECCE und Phakoemulsifikation einsetzbar. Hinsichtlich der klinischen Verwendung ist die Fixationsmethode seit 25 Jahren konstant (Ophtec 2018). Die zwei sich gegenüberliegenden Klauen dienen der Verankerung. Das Prinzip beruht auf der Enklavation einer Irisfalte.

Durch ihre Lage im mittelperipheren, unbeweglichen Teil der Iris haben die Haptiken keinerlei Einfluss auf die Gefäß- und Nervenversorgung. Ebenso ist weiterhin eine Verengung und Erweiterung der Pupille möglich. Da sowohl eine horizontale, vertikale und schräge Fixationslage gewählt werden kann, ist die Linse vielfältig einsetzbar (Ophtec BV, 2010). Somit trifft nicht die Anatomie, sondern der Operateur die Entscheidung bezüglich der Zentrierung (Ophtec 2018).

Weiterer Vorteil der Verisyse® ist die Anwendung als "Back-Up-Linse". Die Verisyse® kann auch im Falle von Komplikationen, bei denen andere Linsen nicht mehr verwendet werden können, eingesetzt werden. Dazu gehören beispielsweise Verlust oder Instabilität des Kapselsackes, Traumata oder sekundäre Pathologien wie z.B. PEX, Marfan Syndrom, Morbus Weill-Marchesani, Homozysteinurie, oder eine kongenitale Katarakt (Ophtec 2018).



*Abbildung 7: Endgültige Lage der Verisyse® im Auge*  
(Szurman and Gekeler 2014)

### **6.1.1 Materialbeschaffenheit und technische Daten**

Die verwendeten Linsenmodelle sind Kunstlinsen aus PMMA CQ-UV (Polymethylmethacrylat), die nicht gefaltet oder injiziert werden können. Da die ungeschützte Exposition der Augen mit UV-Licht zu Schäden der Makula und zur Entstehung einer altersabhängigen Makuladegeneration führen kann, sind die Linsen mit einem UV-Schutz ausgestattet. Durch den zusätzlichen UV-Schutz der Linsen im

ultravioletten und sichtbaren Violett- und Blaubereich wird eine Makulaschonung erreicht, ohne dass es zu Nachteilen bei Visus, Kontrastsensitivität oder Farbperzeption kommt (Zuberbühler et al 2008).

Die empfohlene A-Konstante liegt - mit Ultraschall gemessen - für die Fixation in der Vorderkammer bei 115,0, für die retropupillare Fixation bei 116,8. Sollte eine optische Datenerhebung zur Berechnung mittels der SRKT-Formel erfolgen, liegt die A-Konstante bei 115,7 (anteriore Fixation) und 116,9 (retropupillare Fixation) (Ophtec 2010). Galvis et al. gehören zu den Autoren, die eine größere personalisierte Konstante von 117,5 verwendeten und hierdurch eine Zielrefraktion von  $-0,62 \pm 1,06$  erreichen (Sekundo et al 2014).

Der Lieferbereich der Artisan<sup>®</sup> Standard-Linse Ref. 205 liegt in 1-Dioptrieschritten zwischen +2 und +30 dpt. Zwischengrößen im 0,5-Dioptriebereich sind lieferbar zwischen +14,5 und +24,5 dpt (Ophtec 2010). Artisan<sup>®</sup> Linsen sind auch für emmetrope oder myope Augen je nach Bauart bis zu -23,5 dpt lieferbar (Auffahrt 2007). Die Linsen bestehen aus Polymethylmethacrylat, das vom Körper gut toleriert wird und zu keiner Abstoßungsreaktion führt. Sollte sich die Sehstärke nach der Operation im weiteren Verlauf verändern, besteht jederzeit die Möglichkeit, einen Linsenaustausch vorzunehmen (Augenklinik 2005).

### **6.1.2 Linsenoptik und Linsenhaptik**

Der optische Teil der Linse ist bikonvex und hat einen Durchmesser von 5,0 mm. Die beiden äußeren Haptiken, die der Enklavation im Irisstroma dienen, haben jeweils einen Durchmesser von 0,2 mm und eine Höhe von 0,14 mm. Der Gesamtdurchmesser einer Artisan<sup>®</sup>/Verisyse<sup>®</sup> beträgt 8,5 mm. Der optische Durchmesser der Linse bedingt die Länge des gewählten Tunnelschnittes von 5,4 mm für den operativen Zugang. Zusätzlich verfügt die Linse über eine Haptikabwinkelung von 5° und ermöglicht es so dank ausreichendem Abstand zur Irisrückseite einen Pigmentabrieb zu verhindern, sodass keine präventive Iridektomie notwendig ist (Baum and Blum 2009). Die Artisan<sup>®</sup>/Verisyse<sup>®</sup> gibt es bauartbedingt nur in einer Einheitsgröße, die für alle Augen passt (Ophtec 2018). Durch diese Einheitsgröße können Fehler, wie sie bei sulkus- oder kammerwinkelgestützten Linsen durch die Wahl der falschen Größe entstehen können, verhindert werden (Güell et al 2010).

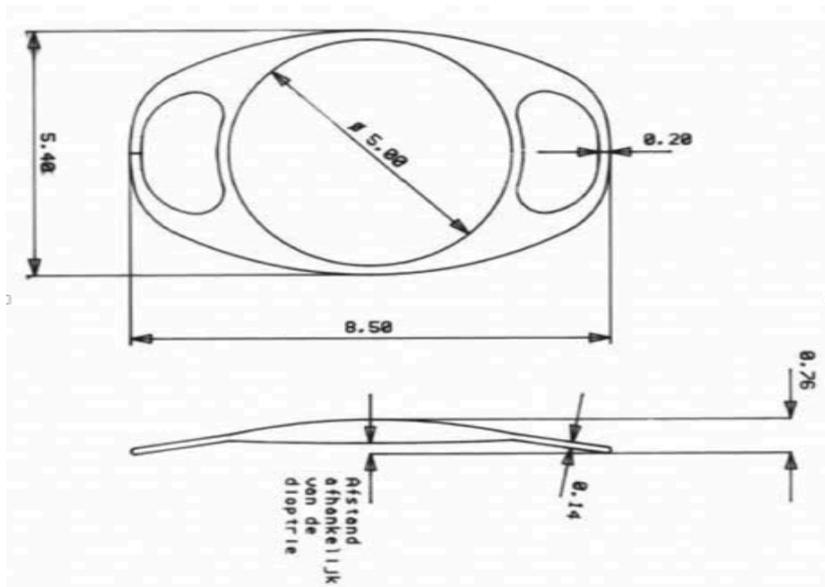


Abbildung 8: Konstruktion und Maße der Standard Artisan®/Verisyse® (Ophtec 2010)

Für die Behandlung einer kindlichen Aphakie stehen weitere Modelle mit einem optischen Durchmesser von 4 mm oder 5 mm und einem Transversaldurchmesser von 6,5 mm, 7,5 mm oder 8,5 mm zur Verfügung (Dick and Augustin 2001).

### 6.1.3 Berechnung der Kunstlinsenstärke

Neben der Operationstechnik und dem Linsenmodell ist auch die Berechnung der notwendigen Brechkraft ein entscheidender Faktor für den Erfolg des Eingriffs. Besonders bei problematischen Ausgangsvoraussetzungen wie beispielweise extremen Achslängenabweichungen oder nach vorausgegangenen Operationen zeigte sich, dass mangelhaft errechnete Brechungswerte die Hauptursache für eine sekundären Korrekturingriff und eine Explantation darstellten (Haigis, 2007).

Zur Berechnung der benötigten Brechkraft wird häufig die 1981 von Sanders et al. entwickelte SRK/T-Formel angewandt, die wie im Prinzip alle anderen verwendeten Formeln verschiedene Variablen wie Achslänge, Hornhautdicke, Hornhauradien und Vorderkammertiefe berücksichtigt. In die Berechnung nach der SRK/T-Formel geht die sogenannte A-Konstante mit ein, eine individuelle Linsenkonstante, die in allen anderen Berechnungsformeln mit unterschiedlicher Bezeichnung ebenfalls auftritt (auch IOL-Konstante genannt). Jede Linse eines jeden Herstellers hat eine andere, individuelle A-Konstante, welche für die Berechnungsformel angegeben wird. Durch diese Konstante wird unabhängig von Form, Material oder Durchmesser eine Linse

über den gesamten lieferbaren Dioptriebereich so charakterisiert, dass die Formel entsprechend konsistente Ergebnisse liefert. Wichtigster Faktor bei der Berechnung der Linsenstärke ist die Achsenlänge. Sie kann sowohl durch Ultraschall, optische Biometrie oder auch Interferenzbiometrie quantitativ erfasst werden.

Ausgeführt wird die Planung mit Hilfe einer apparativen Biometrie, welche bei der Linsenberechnung neben den Standardformeln weitere Konstanten und Fehlerquellen berücksichtigt (Haigis, 2007).

Die Formel, anhand derer dann die Brechkraft der zu implantierenden Linse ermittelt wird, ergibt sich aus der Formel zur Berechnung der A-Konstante:

$$A = P + (2,5 \cdot L) + (0,9 \cdot K)$$

*A = ungefähre A-Konstante je nach Objektivtyp*

*P = vorgesehene Dioptrie*

*L = Achsenlänge*

*K = Hornhautkrümmung in Dpt*

Daraus ergibt sich dann die Berechnung der Brechkraft wie folgt:

$$P = (2,5 \cdot L) + (0,9 \cdot K) - A$$

(Aphakia and General, 2010b)

#### **6.1.4 Voraussetzungen und Kontraindikationen**

Notwendig für die Implantation der Irisklauenlinse ist eine ausreichende Pupillenweite, ein weitgehend unversehrtes Irisdiaphragma, zumindest an den Enklavationsstellen, und der Ausschluss von Iris-affektierenden Erkrankungen (Sekundo et al 2014, Gonnerman et al 2014, Gonnermann et al 2013). Somit kommt der Einsatz einer Irisklauenlinse wie der Verisyse® bei Entzündungen und ischämischen Vitreoretinopathien wie beispielsweise der proliferativen Retinopathie oder Gefäßverschlüssen nicht in Frage. Als nicht geeignet gelten auch Patienten mit zystoidem Makulaödem oder dekompensierten Sekundärglaukom. Eine Pupillenweite von 5 mm ist eine weitere Kontraindikation, die zum Ausschluss führt (Baum and Blum 2009). Bei Patienten mit autoaggressivem Verhalten, geringem Lebensalter und bei verminderter Übersicht ist dagegen eine Implantation durchführbar (Wolter-Roessler and Kuchle 2008).

Eine vordere oder pars-plana Vitrektomie, im Vorfeld stattgefunden oder intraoperativ, ist Grundvoraussetzung für die Linsenimplantation (Besgen and Sekundo 2017),

ebenso wie das Beseitigen etwaiger Kapselrückstände (Gekeler and Gekeler 2015). Eine Vitrektomie ist auch notwendig, um einen permanenten Anstieg des intraokularen Drucks oder die Entstehung von Netzhautforamina oder einen Glaskörpereinzug zu verhindern. Periphere Iridektomien werden dagegen kontrovers diskutiert, da Pupillarblöcke nicht festgestellt wurden (Helvaci et al 2016).

Laut Herstellerinformation ist ein Minimum an Endothelzellen erforderlich, abhängig vom Patientenalter. Auch wenn in Langzeituntersuchungen kein Endothelzellverlust nachgewiesen werden konnte, wird vom Hersteller empfohlen, nach 6 Monaten und dann jährlich die Anzahl der Endothelzellen zu kontrollieren (Ophtec 2018).

### **6.1.5 Operationstechnik**

Die Implantation einer Verisyse® kann in Allgemein- oder Lokalanästhesie erfolgen. Mit den zunehmend minimal-invasiven Operationstechniken nimmt die Quote der Eingriffe in Lokalanästhesie immer weiter zu. Bei der Lokalanästhesie stehen injektive und topische Verfahren zur Verfügung. Zu den injektiven Verfahren gehören die Retrobulbäranästhesie, die Peribulbäranästhesie, die Subtenonanästhesie und die subkonjunktivale Anästhesie. Sie zeichnen sich durch eine gute Analgesie und Akinesie aus. An topischen Techniken stehen z.B. die Tropf- oder Gel-Anästhesie zur Verfügung, wobei zur Dämpfung evtl. auftretender Schmerzen oder Unterstützung bei einer fehlenden Akinesie die zusätzliche Gabe von i.v. Narkotika erfolgen kann. In den USA werden derzeit bereits über 50% der Kataraktoperationen in einer topischen, nicht injektiven Anästhesieform durchgeführt (Weindler and Ruprecht 2004). Die Wahl des Anästhesieverfahrens hängt von den Präferenzen des Operateurs und den patientenbezogenen Risikofaktoren und Wünschen ab. Bei den Studienpatienten kommen unterschiedliche Anästhesieverfahren zum Einsatz, der Eingriff selbst wird in dem Standard OP-Verfahren durchgeführt.

Nach Durchführen der Anästhesie erfolgen die Liddeinfektion, das sterile Abdecken und das Einsetzen eines Lidsperrers. Der Bindehautsack wird dann mittels Povidon-Jod ausgespült, welches nach einer Einwirkzeit von mindestens 2 Minuten am lateralen Lidwinkel abgetupft wird. Mithilfe einer Klinge und eines Diamantmessers wird dann ein 5,5 mm superiorer clear cornea Tunnel auf 12 Uhr präpariert. Anschließend werden drei 25 G-Trokare an den typischen Lokalisationen bei 7,10 und 2 Uhr via der Pars Plana in den Bulbus eingebracht. Nach stattgefundenener Lagekontrolle und angebrachter Infusion werden zwei tangentielle Parazentesen auf

10 und 2 Uhr angelegt. Die Eröffnung des Tunnels zur Vorderkammer erfolgt dann auf der vorbereiteten Breite. Zum Schutze des Pigmentepithels wird unter direkter Mikroskopsicht ein Viskoelastikum in die Vorderkammer injiziert.

Häufig besteht der erste weitere OP-Schritt in der Entfernung der alten dislozierten Intraokularlinse. Ein einigen Fällen wurden Reste von Sommerring-Katarakten entfernt und eine vordere Vitrektomie, falls noch nicht erfolgt, durchgeführt.

Jetzt kann in das aphake und vitrektomierte Auge die Irisklauenlinse retroiridal eingebracht werden. Dies erfolgt in inverser Position und anschließend horizontaler Ausrichtung von 9 bis 3 Uhr mit einer speziellen Implantationspinzette, z.B. von der Geuder GmbH Heidelberg® oder Ophtec BV. Die Pinzette nach Sekundo hat eine abstützende Platte für die Linse, die Pinzette von Ophtec einen klassischen Greifarm.

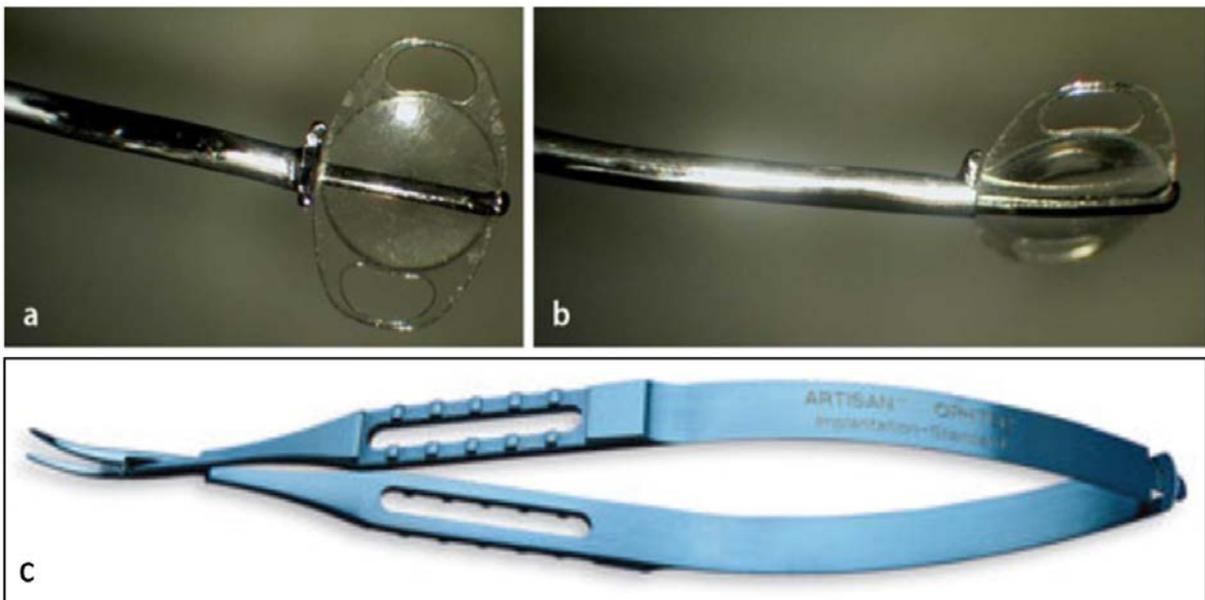


Abbildung 9: Implantationspinzetten nach Sekundo (a,b) und Ophtec (c)  
(Sekundo et al 2014, Ophtec GmbH 2021)

Unter Zuhilfenahme einer Enklavationsnadel (z.B. Spatel nach Sekundo oder Enklavationsnadel der Fa. Ophtec) können die Haptiken der retropupillar positionierten Linse dann sicher in der Iris enklaviert werden.



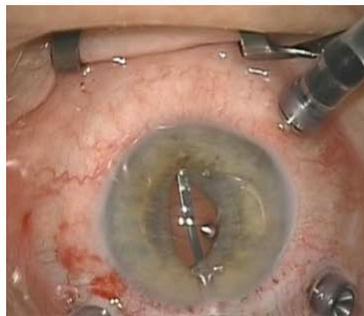
Abbildung 10: Enklavationsnadel nach Sekundo (a) und Ophtec (b)  
(Sekundo et al 2014, Ophtec GmbH 2021)

Vorzugsweise sollte zunächst mit der nichtdominanten Hand die distale und anschließend die proximale Haptik verankert werden. Dank einer Zentrationskerbe in der Stützplatte der Sekundo-Implantationspinzette wird eine optimale Fokussierung gewährleistet (Besgen and Sekundo 2017). Intraoperativ muss darauf geachtet werden, eine Ovalisierung der Pupille durch die Enklavation zu vermeiden. Der sich nach Entfernung der Instrumente spontan dicht verschließende Tunnel wird vorsichtshalber mittels einer 10,0 Nylon fortlaufenden Kreuzstichnaht übernäht. Mit Hilfe von Saug-/Spülinstrumenten wird das zuvor eingebrachte Viskoelastikum wieder abgesaugt. Zum Schluss wird eine Hydratation der Parazentesen, Entfernung der Trokare, Tonisierung des Bulbus, sowie eine subkonjunktivale Injektion von Gentamicin und Dexamethason durchgeführt. Nach Gabe von Floxal Augensalbe wird dann ein Monoculus angelegt.

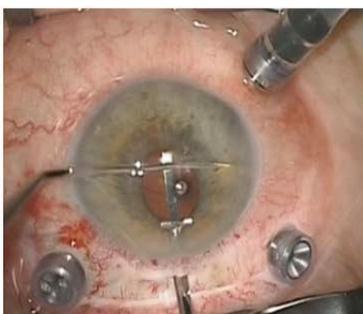
Zur Nachsorge bekommen die Patienten in der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz 3 mal täglich Prednisolonacetat 1% Augentropfen (mit wöchentlicher Reduktion), 4 mal täglich Ofloxacin 0,3% Augentropfen (für 5 Tage nach Operation) und Prednisolonpivalat 0,5% Augensalbe zur Nacht (für 2 Wochen).



1 - Pinzette mit Verisyse



2 - Einlegen der Verisyse



3 - Enklavation in die Iris



4 - Vernähen der Sklerotomie

*Abbildung 11: OP-Schritte Implantation einer Verisyse®  
(Besgen and Sekundo 2017)*

### **6.1.6 Komplikationen**

Eine Vorhersage der Zielrefraktion ist grundsätzlich schwer zu treffen. Als wesentlicher Faktor gilt die postoperative Linsenposition, die unter anderem von der Kopfposition während der anteriorposterioren Bewegung und der mechanischen Beständigkeit und Quantität des enklavierten Irisgewebes abhängt. Auch der Glaskörperzustand spielt eine wichtige Rolle. Wichtig für das Operationsergebnis und Grundvoraussetzung ist aber vor allem ein intaktes Irisdiaphragma, in dem die Irisklauenlinse aufgehängt werden kann.

Zu den postoperativen Komplikationen zählen okuläre Hypo- oder Hypertonien, eine IOL-Dezentrierung, das Makulaödem (Irvine-Grass-Syndrom), Blutungen, Uveitiden, eine Amotio retinae oder eine Endophthalmitis. Eine Deenkavation mit dem Ausriss einer der beiden Haptiken konnte in einer Studie von Besgen und Sekundo 2017 nach einer längeren Nachbeobachtungszeit in 8,7% der Fälle beobachtet werden. Zudem kann es, vor allem abhängig vom Operateur, zu einer Pupillenovulation kommen.

Manche Operateure raten wegen der Gefahr eines Pupillarblocks zu einer prophylaktischen Iridotomie. Nach vorherrschender Meinung, auch in der aktuellen Literatur, ist nach vollständiger Vitrektomie ein ziliolentikulärer Block oder auch eine Aqueous misdirection aber extrem unwahrscheinlich und somit keine Iridektomie indiziert (Besgen and Sekundo 2017).

### **6.2 Optische Kohärenztomographie (OCT)**

Die optische Kohärenztomographie ist ein nicht invasives, bildgebendes Verfahren, mit dem unter Verwendung von Licht im Wellenlängenbereich von ca. 800-1400 nm 2- und 3-dimensionale Schnittbilder von streuenden Materialien wie zum Beispiel biologischen Geweben erlangt werden können. Haupteinsatzbereich ist die Augenheilkunde, in der das OCT vor allem eine genaue Darstellung der Schichtstruktur der Netzhaut ermöglicht und so eine präzise Diagnostik von Netzhauterkrankungen wie z.B. einer Makuladegeneration oder einer diabetischen Retinopathie ermöglicht. Die OCT wird beispielsweise auch zur Ermittlung der Augenlänge im Vorfeld von Kataraktoperationen eingesetzt (Berufsverband 2017). Ebenso kann der Bereich Hornhaut-Vorderkammer-Iris inklusive des Kammerwinkels biometrisch präzise untersucht und vermessen werden (Viestenz et al 2007). Mit der Einführung der Fourier-Domain optischen Kohärenztomographie (FD-OCT) können

durch eine verbesserte Auflösung detaillierte Messungen insbesondere des Sehnervs, der Retina und der Dicke des retinalen Ganglienzellkomplexes durchgeführt werden (Schulze et al 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde die OCT erstmals eingesetzt, um die exakte Verankerung der Haptiken einer Irisklauenlinse im Irisgewebe zu untersuchen.



*Abbildung 12: SD-OCT-Messgerät von Heidelberg Engineering (Heidelberg Engineering 2017)*

### **6.2.1 Physikalische Grundlagen**

Das Prinzip der OCT lässt sich am ehesten mit dem der Ultraschalluntersuchungen vergleichen, nur dass hier Licht anstelle von Ultraschall verwendet wird. Gemessen und ausgewertet werden jeweils die Laufzeitunterschiede der Wellen. Dabei lassen sich die entstehenden Aufnahmen am ehesten mit denen einer Sonographie vergleichen. Bei der OCT wird Licht mit Wellenlängen  $> 840\text{ nm}$  an den verschiedenen Gewebeschichten im Auge reflektiert und ermöglicht so detailgenaue Aufnahmen der Strukturen wie beispielsweise der Netzhaut oder auch von Strukturen der Vorderkammer (Inhoffen 2010).

Physikalische Grundlage des OCT ist die sogenannte Michelson-Interferometrie, bei der die Aufspaltung eines Laserlichtes in zwei Strahlen erfolgt. Während ein Strahl als Referenzstrahl dient, der von einem Spiegel reflektiert wird, tritt der zweite Strahl



von Messstrahl und Referenzstrahl verglichen und mit Hilfe spezieller Algorithmen (Fourier-Transformation) verarbeitet. Hier ist eine gleichzeitige Tiefenerfassung ohne eine mechanische Positionsänderung des Referenzspiegels möglich (Schulze et al 2009). Da keine wechselnde Ausrichtung des Referenzspiegels notwendig ist, und die Interferenzen gleichzeitig erfasst werden können, ist die SD-OCT gegenüber der TD-OCT deutlich schneller (Götze 2017). Auf diesem Verfahren basiert das Spectral-Domain-OCT (Spectralis-OCT, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Deutschland), mit dem auch die Enklavation der Haptiken unserer Patienten untersucht wurde. Dies erreicht eine Auflösung von 7  $\mu\text{m}$  und rund 40.000 A-Scans pro Sekunde (Schulze et al 2009).

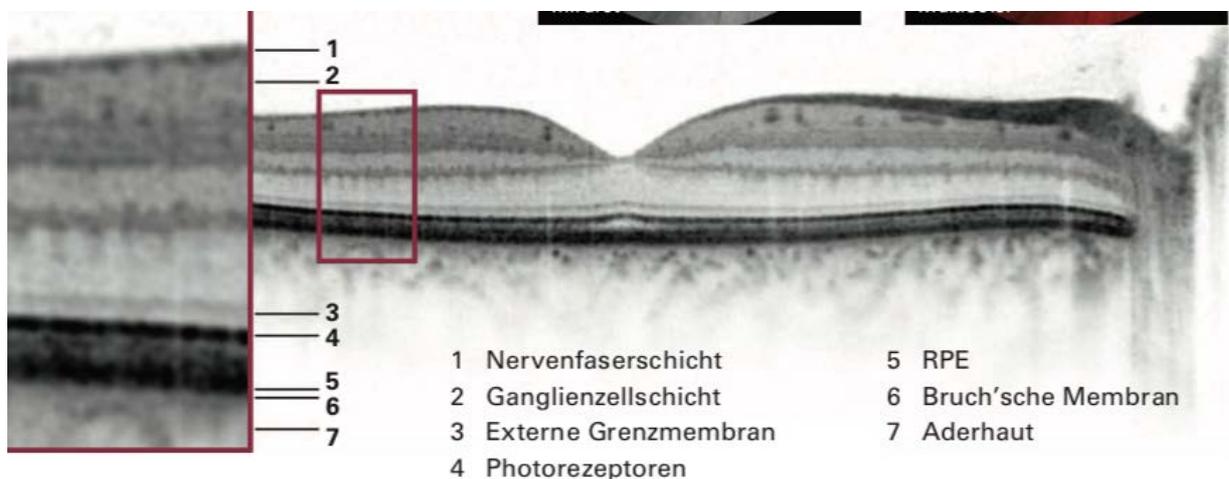


Abbildung 14: OCT-Darstellung der Netzhaut (Heidelberg Engineering 2015)

### 6.2.2 Anwendung und Vorteile

Durch die präzise in-vivo 3D Darstellung von Strukturen des anterioren Segmentes - in der Detailgenauigkeit vergleichbar mit einer histologischen Darstellung (optische Biopsie) - erlangt die OCT einen wichtigen Stellenwert im klinischen Alltag (Ang et al 2018). Durch entsprechende Bildverarbeitungsprogramme kann sie in der präoperativen Diagnostik, intraoperativen Entscheidungsfindung sowie der postoperativen Verlaufskontrolle und Ergebnisevaluierung eingesetzt werden.

Bereits 1961 erfolgten mittels OCT die ersten Messungen der optischen Achsenlänge durch Franken (Fercher et al 1988). Eine entsprechende Verbreitung erlangte die OCT durch die 4optics AG, heute Heidelberger Engineering (Hüttmann et al 2009). Das Spectralis-OCT der Firma Heidelberger Engineering arbeitet mit Licht einer Wellenlänge von 820 nm und verfügt über eine Auflösung von 7  $\mu\text{m}$  axial

und 20 µm transversal. Es kann 40.000 A-Scans pro Sekunde fertigen, die Eindringtiefe ist 2 mm, die Scanweite 6 mm (Ang et al 2018).

Ursprünglich wurde die OCT vor allem genutzt, um in vivo Diagnostiken der Makula durchzuführen und Netzhauterkrankungen, Makulaödeme sowie idiopathische zentrale Chorioretinopathien zu diagnostizieren und das Ausmaß der pathologischen Veränderungen zu messen. Durch stetige technische Verbesserung der Scangeschwindigkeit, des Auflösungsvermögens und mittels 3D Visualisierungen konnte das diagnostische Spektrum bis hin zur Glaukomdiagnostik ständig erweitert werden. Retinale Nervenfaserschichtdicken (RNFL) und C-Modi können weitere Strukturinformationen liefern (Gabriele et al 2011).

Die OCT ermöglicht die Darstellung der gesamten Vorderkammer in einem Bild. Die Messung von Tiefe und Breite, gemessen von Winkel zu Winkel ist ebenso möglich wie die Darstellung des Irisprofils (Ramos et al 2009). In den vergangenen Jahren erschienen auch immer wieder Studien, welche die OCT zur Vermessung von Vorderkammerwinkelstrukturen nutzen. Die Anwendung der Vorderabschnitts-OCT zur Vermessung sowohl von Vorderkammertiefe als auch des horizontalen Kammerwinkelabstandes vor Implantation einer phaken IOL zeigte sich für den langfristigen Erfolg von Bedeutung. Es steht bereits eine Simulations-Software mit Abbildung der Kunstlinse in der Vorderkammer zur Verfügung. Hierdurch lässt sich abschätzen, inwieweit postoperative Komplikationen auftreten können, verursacht durch Berührung des Endothels der natürlichen Linse bei Akkommodation und mit zunehmendem Alter (Wirbelauer et al 2007). Durch den Gebrauch veränderter Wellenlängen und verbesserter Optiken können auch Komplikationen einer IOL wie Dezentrierung, Verkippung oder Verlagerung in den Kapselsack früher erkannt werden (Wirbelauer et al 2007).

Auch die Darstellung kornealer Strukturen wie z.B. der Dicke oder eventuelle Trübungen vereinfachen es den Operateuren, eine Entscheidung bezüglich der Maßnahmen zu treffen (Ramos et al 2009). Bei der Glaukomdiagnostik und Korneachirurgie ist eine mikrometergenaue Darstellung der Topographie der Vorderkammerelemente notwendig. Bei der Iris kann das Irispigmentepithel, das Stroma und die vordere limitierende Schicht dargestellt werden. Weiterhin können der Irissphinkter und der Pupillenkragen, aber auch pathologische Morphologien wie Iriskrypten dargestellt werden. Mit Hilfe des Echtzeit OCT können auch dynamische Veränderungen aufgezeigt werden (Radhakrishnan 2001). Besonders für phake IOL-Linsenimplantationen können wichtige Informationen gewonnen werden, um

verschiedene anatomische Gegebenheiten zu evaluieren. So lässt sich bis auf wenige Grade vorhersehen, welche Veränderungen phake Linsen bei alltäglichen Bewegungen mit sich bringen (Baikhoff et al. 2004).

Durch Kombination von Noninvasivität und schneller Befunderhebung kann die OCT bereits kurz nach einer OP und bei traumatisierten Hornhäuten angewendet werden. Laut Kumar kann die OCT vor allem auch wegen dieser Vorteile als Alternative zu anderen Verfahren zur Bestimmung von Position und Neigung von sulkusfixierten, geklebten und sklerafixierten Linsen angewandt werden (Kumar et al 2011).

### **6.3 Postoperative Mikromorphometrie**

Bei den Augen unserer Patienten wurde am 2. postoperativen Tag die Verankerung des Implantates in der Iris mit Hilfe der Spectral-Domain optischen Kohärenztomographie (SD-OCT) des Herstellers Heidelberg Engineering untersucht und so die vorliegenden Daten erhoben. Gemäß Hersteller ermöglicht ein integrierter aktiver Eye-Tracker dabei die optimale Fixation des OCT-Scans an der gewünschten Position und sichert dadurch eine exakte Distanz zwischen OCT-Schnitt und Fundus. Durch den integrierten Eye-Tracker wird auch der Einfluss von Artefakten durch Augenbewegungen minimiert, Folgeuntersuchungen an exakt derselben Stelle sind mit hoher Reproduzierbarkeit möglich (Heidelberg Engineering 2017).

Bei dem verwendeten OCT Modell stehen dem Untersucher mehrere Funktionsmodule zur Messung diverser Werte wie z.B. Distanzen, Durchmesser oder Winkel und Flächen zur Verfügung. Nach Wahl des entsprechenden Messmoduls werden die zu vermessenden Abbildungen ausgewählt. Laut Hersteller werden die Bearbeitungsfelder refraktionskorrigiert verbildlicht. Sollte dies nicht möglich sein, ist eine Messung nicht durchführbar und die betroffenen Patientenbilder können nicht in die Studie eingeschlossen werden, was bei einigen Patienten der Fall war. Um optimale Bedingungen für die Vermessungen zu schaffen, wird der betroffene Bereich zentriert und vergrößert. Dadurch lassen sich einzelne Strukturen besser identifizieren und die Anfangs- und Endpunkte präziser festlegen. Um die Dicke der verschiedenen Strukturen zu erfassen, wurde bei den Patienten der vorliegenden Arbeit das Distanzwerkzeug verwendet. Sollte während der Platzierung und Ausrichtung des Start- oder Stopppunktes ein Fehler unterlaufen, kann man entweder eine nachträgliche Positionsänderung durchführen oder die bestehende

Messung löschen (Heidelberg Engineering 2013). Anderweitige Messmodule werden für die Fragestellung nicht benötigt.

Für jede Fixationsstelle der Linsenhaptiken im Irisgewebe erfolgt eine Evaluation der Enklavation. Die jeweiligen Positionen der Enklavation werden - aus Sicht des Untersuchers - mit 9 und 3 Uhr bezeichnet. Sowohl für die longitudinale als auch die transversale Ebene wurden diverse Messpunkte definiert und so gewählt, dass sie gut reproduzierbar sind und eine möglichst genaue Aussage über die Position der Linse und die Stabilität der Verankerung erlauben.

Solch standardisierte Vergleichswerte, die eine Aussage über den Sitz der Linse erlauben, wurden erstmals in dieser Form erhoben. Dadurch kann man wichtige Erkenntnisse zum durch die Enklavation erfassten Gewebevolumen gewinnen. So sieht man, ob es zu einem Overstretching außerhalb der Enklavation kommt, ob die Dicke des Irispigmentepithels durch die Enklavation beeinflusst wird, wie die off-sets der Haptiken sind oder ob es sogar zur Verformung der ganzen Iris kommen kann.

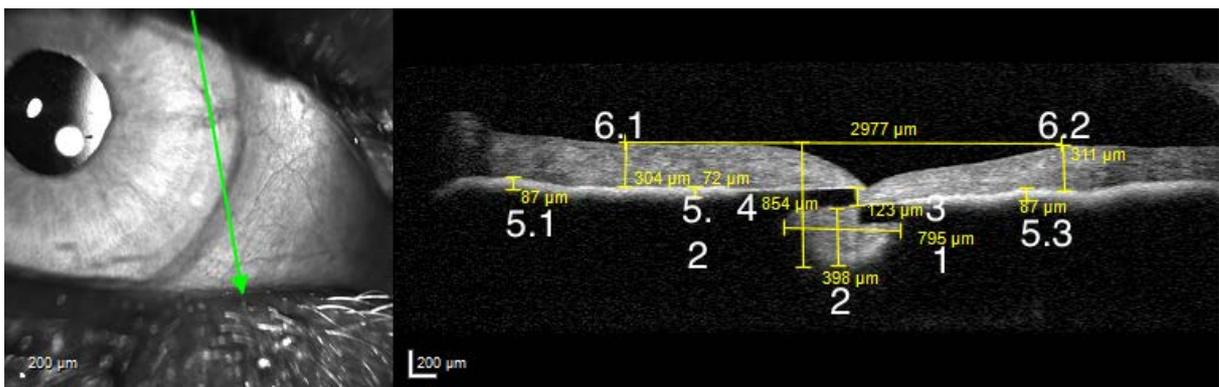


Abbildung 15: Enklavation der Verisyse® in longitudinaler Ansicht

#### Longitudinal zu den Haptiken:

1. Breite des Gewebsteils hinter Enklavation
2. Tiefe des Gewebsteils hinter Enklavation
3. Versatz der Haptiken
4. Distanz Tangente höchste benachbarte Punkte auf Iris zu tiefstem Punkt des enklavierten Gewebes (rechtwinklig)
5. Dicke des Irispigmentepithelblatts beidseitig der Enklavation auf jeweils drei Punkten äquidistant über die Gesamtmessstrecke der OCT
6. Gewebsmächtigkeit des Irisstromas an der stärksten Position beidseits der Enklavation

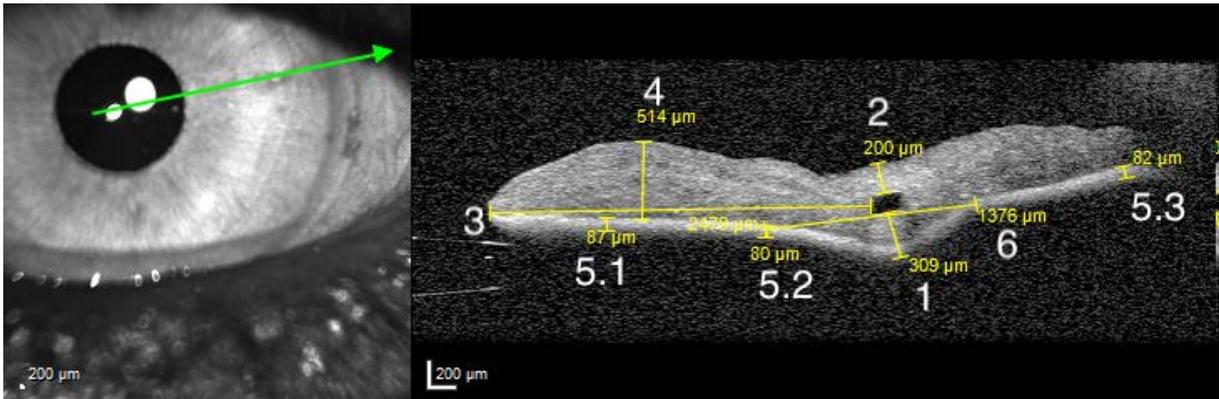


Abbildung 16: Enklavation der Verisyse® in transversaler Ansicht

Transversal zu den Haptiken:

1. Irisstroma hinter Haptikquerschnitt
2. Irisstroma vor Haptikquerschnitt
3. Distanz innere Haptikbegrenzung zu Pupillarsaum
4. Höchste Gewebsmächtigkeit des Irisstroma innerhalb der Enklavation (zu Pupillarsaum)
5. 3 Punkte Irispigmentepitheldicke
6. Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes hinter Enklavation

Nachdem alle Werte vorliegen, wird der zur Messung vergrößerte Bildausschnitt wieder verkleinert, um eine Übersichtsaufnahme zu erstellen und schließlich zu den Patientendaten abzuspeichern. Parallel dazu wird die zur Datendokumentation aufgebaute Excel-Tabelle stetig aktualisiert.

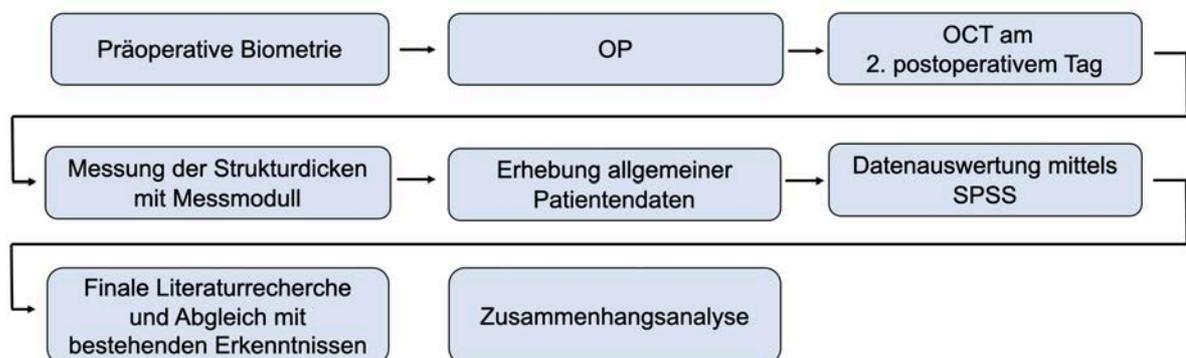


Abbildung 17: Ablaufschema Arbeit

## 6.4 Datenauswertung

In dieser retrospektiven Untersuchung werden die OCT Bilder von Patienten ausgewertet, bei denen eine retroiridal fixierte Irisklauenlinse implantiert wurde.

Dazu werden zunächst anhand von Krankenakten alle relevanten Patientendaten recherchiert und die vorab festgelegten Messpunkte der Enklavationsanalyse quantitativ in einer Excel-Tabelle zusammengetragen. Da retrospektiv vorgegangen wird, kann nicht bei jedem Patienten der komplette Datensatz erhoben werden. Anschließend erfolgt die statistische Auswertung unter Verwendung der Software SPSS (Version SPSS IBM Statistics 26).

Zunächst erfolgt eine rein deskriptive Analyse der verschiedenen Messpunkte mit Ermittlung von Mittelwert, Standardabweichung, Maximum, Minimum und 1./2./3. Quartil. Im Ergebnisteil werden die Mittelwerte und die entsprechende Standardabweichung mit einem  $\pm$  beschrieben. Zur Darstellung der binären Merkmale werden Balkendiagramme gewählt, zur Veranschaulichung der stetigen Daten Histogramme. Zur Darstellung der Zusammenhänge wird bei stetigen Variablen der Korrelationskoeffizient nach Pearson und die Grafik eines Punkt-Streudiagrammes gewählt. Liegt ein binäres Merkmal vor, dessen potentieller Einfluss auf die Messwerte untersucht wird, erfolgt die Analyse entsprechend einer punkt-biserealen Korrelation. Ein entsprechender Boxplot dient der Veranschaulichung.

Da es sich um Daten einer gepaarten Stichprobe handelt, wird bei Betrachtung der Fälle mit beidseitiger Implantation der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest angewendet, um potentielle lagebedingte Unterschiede aufzuzeigen. P-Werte unter 0,05 werden als statistisch auffällig gewertet und bedürfen einer weiteren Prüfung. Der gleiche Test kommt bei der Fragestellung zum Unterschied zwischen einer 9 Uhr beziehungsweise 3 Uhr Position zur Anwendung. Boxplots dienen der Veranschaulichung.

Alle statistischen Analysen sind rein explorativ und erfolgen somit ohne multiple Testkorrektur, das heißt ohne eine Kontrolle des globalen Fehlers erster Art. P-Werte sind dementsprechend vorsichtig zu interpretieren.

## **7 Ergebnisse**

### **7.1 Patientenkollektiv**

Das Kollektiv besteht aus 67 zwischen 2014 und 2019 operierten Patienten, die auf zwei unterschiedliche Arten ausgewählt wurden. Zum einen wurden die Daten der für diese Arbeit relevanten Patienten mit retroiridaler Fixation und durchgeführter OCT-Untersuchung aus einem bestehenden Datenpool selektiert und geprüft, ob entsprechende Bilder für die Auswertung zur Verfügung stehen. Der zweite Teil des Patientenkollektivs wurde durch Sichtung der Operationspläne über ca. 6 Monate in der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz ermittelt. Die OCT-Aufnahmen wurden bei diesen Patienten routinemäßig im Rahmen der standardisierten post-operativen Diagnostik angefertigt.

In 5 Fällen wurde die Irisklauenlinse beidseits eingesetzt, sodass bei 67 Patienten insgesamt 72 Augen vermessen werden konnten. Operationsort war überwiegend die Augenklinik der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz. Lediglich ein Patient unterzog sich einer beidseitigen OP an einer anderen Klinik, im Falle einer weiteren beidseits implantierten Linse war der Operationsort des linken Auges nicht bekannt. Soweit möglich wurden bei den Patienten relevante präoperative Diagnosen wie das Pseudoexfoliationssyndrom (PEX), ein Zustand nach Glaskörperentfernung sowie ein stattgehabtes Trauma ermittelt.

#### **7.1.1 Alters- und Geschlechtsverteilung**

Bei dem ausgewählten Patientenkollektiv beträgt der Anteil der Männer 62,5%, derjenige der Frauen 37,5%. Das Durchschnittsalter des gesamten Kollektivs beträgt zum Interventionszeitpunkt 67,79 Jahre  $\pm$  17,17 Jahre. Bezogen auf die gesamte Fallserie ist der jüngste Patient 12, der älteste 90 Jahre alt. Beide sind männlich. Die jüngste weibliche Patientin ist 21 Jahre, die älteste 85 Jahre.

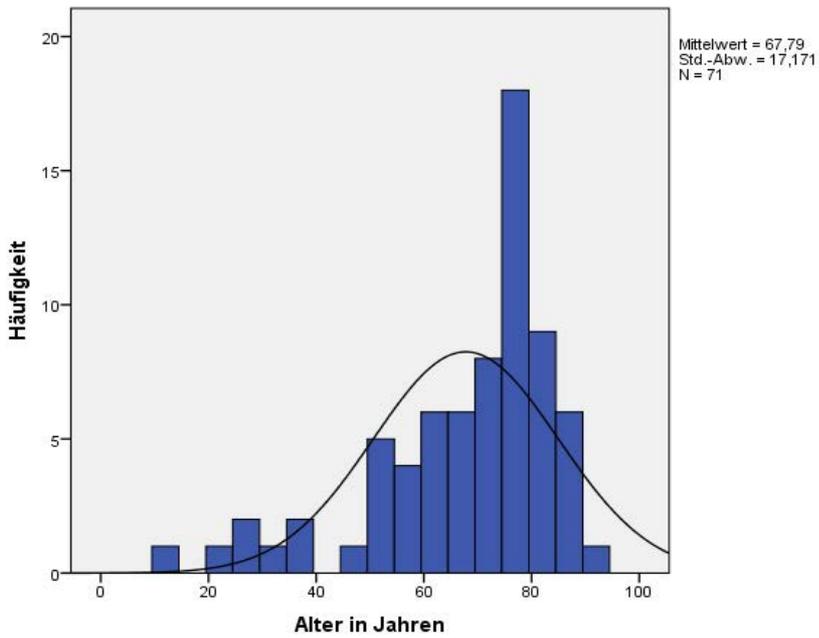


Abbildung 18: Altersverteilung

		Häufigkeit	Prozent
Gültig	m	45	62,5
	w	27	37,5
	Gesamt	72	100,0

Tabelle 1: Geschlechterverteilung

männlich	N	Gültig	44
		Fehlend	1
	Mittelwert	68,55	
	Minimum	12	
	Maximum	90	
weiblich	N	Gültig	27
		Fehlend	0
	Mittelwert	66,56	
	Minimum	21	
	Maximum	85	

Tabelle 2: Altersverteilung nach Geschlechtern

## 7.1.2 Diagnosen

Soweit möglich werden bei den Patienten relevante präoperative Diagnosen wie das Pseudoexfoliationssyndrom (PEX), Zustand nach Glaskörperentfernung sowie ein erfolgtes Trauma ermittelt. Ein Viertel der 72 vermessenen Augen ist von einem PEX betroffen, 16,7% weisen ein Trauma auf und 30,6% wurden bereits im Vorfeld vitrektomiert.

	Häufigkeit	Prozent
PEX	18	25,0
Trauma	12	16,7
Vitrektomie	22	30,6

*Tabelle 3: Relevante Vorerkrankungen der Augen*

## 7.2 Augenbezogene Daten

### 7.2.1 Geschlechterverteilung und Lokalisation

Im Rahmen der Studie werden 37 rechte (51,4%) und 35 (48,6%) linke Augen postoperativ vermessen. Bei Männern wurden insgesamt 45 Augen vermessen, davon 21 rechte und 24 linke Augen. Bei Frauen wurden 27 Implantationen analysiert, 16 mal war das rechte und 11 mal das linke Auge Implantationsort. Sofern bekannt, werden aus den Patientenakten dann jeweils drei verschiedene biometrische Parameter der Augen entnommen. Hierzu zählen Achsenlänge, Vorderkammertiefe und Dioptrie der eingesetzten Irisklauenlinse.

Auge		Häufigkeit	Prozent
rechts	m	21	56,8
	w	16	43,2
	Gesamt	37	100,0
links	m	24	68,6
	w	11	31,4
	Gesamt	35	100,0

*Tabelle 4: Operierte Augen nach Geschlecht und Lokalisation*

## 7.2.2 Achsenlänge

Während in 14 Fällen hierzu keine Angabe gemacht werden kann, gingen die restlichen 58 in die Berechnung mit ein. Im Mittel findet sich ein Wert von 24,9 mm mit einer Standardabweichung von 2,89 mm. Das Minimum beläuft sich auf 21,08 mm, das Maximum auf 36,79 mm.

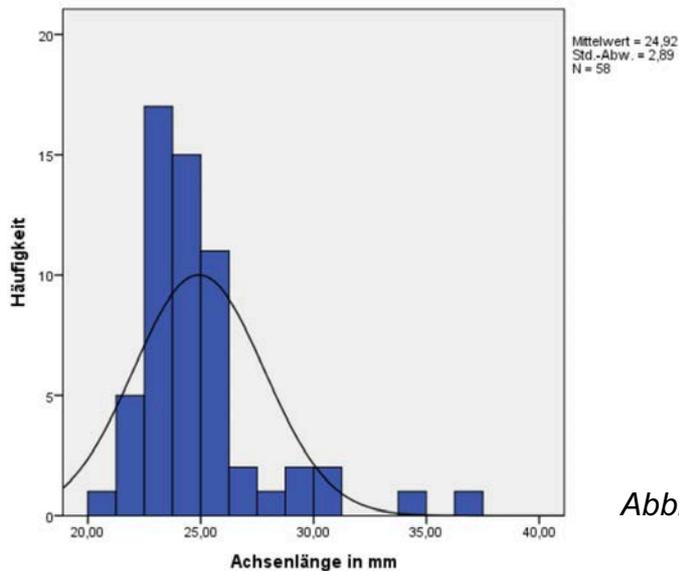


Abbildung 19: Achsenlänge

## 7.2.3 Vorderkammertiefe

Aus den Patientenakten können lediglich 44 Werte zur Vorderkammertiefe erhoben werden. Die Messwerte reichen von 2,26 mm bis 7,05 mm mit einem Durchschnitt von 4,09 mm und einer Standardabweichung von 1,109 mm. Insbesondere Messwerte über 5 mm müssen unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Aphakie beurteilt werden, die zu veränderten Messwerten führen kann.

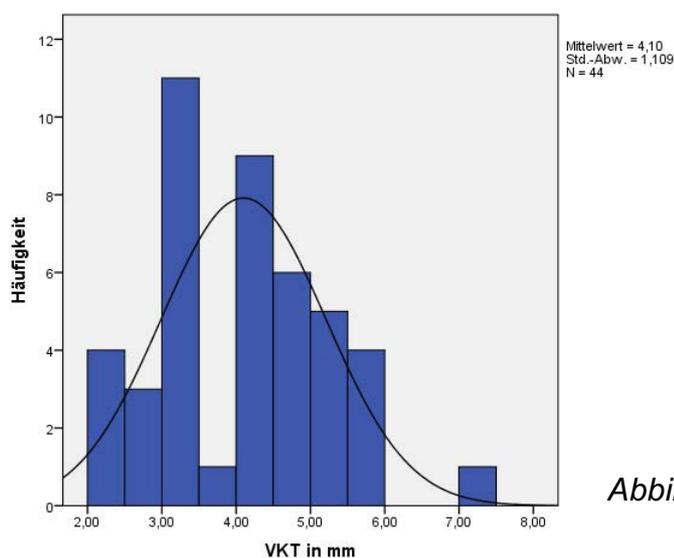


Abbildung 20: Vorderkammertiefe

## 7.2.4 Linsenstärke

Bei den eingesetzten Linsen können die Dioptriewerte von 68 Linsen aus den Akten eruiert werden. Hier zeigen sich ein Maximum von +26 dpt und ein Minimum von -10 dpt. Bei Einschluss aller implantierten Linsen in die Berechnung ergibt sich ein Mittelwert von 16,09 dpt  $\pm$  7,09 dpt.

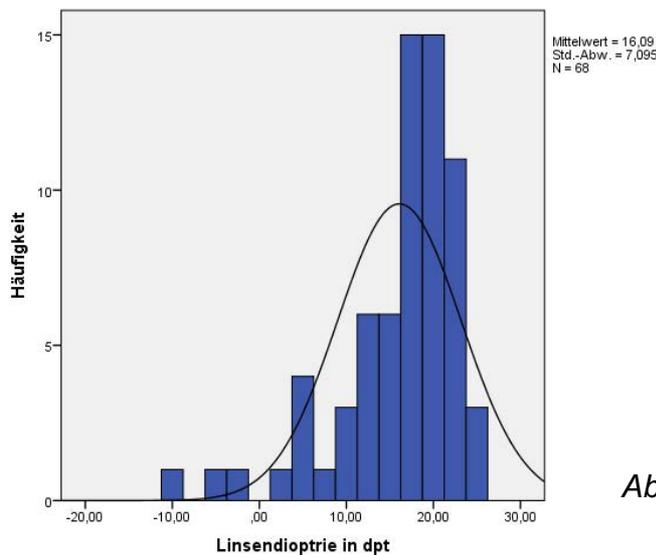


Abbildung 21: Linsenstärke in Dioptrie

## 7.3 Operationsbezogene Daten

Der Eingriff der retroiridalen Fixation wurde von 7 verschiedenen, überwiegend erfahrenen Operateuren vorgenommen, die mit Ausnahme einer Operation namentlich bekannt sind. Der größte Anteil mit 68,1% der Eingriffe entfiel auf einen erfahrenen Ophthalmochirurgen. Die durchschnittliche OP-Dauer beträgt 49,39 min  $\pm$  26,33 min. Das Minimum liegt bei 14 min, der längste Eingriff dauerte 148 min.

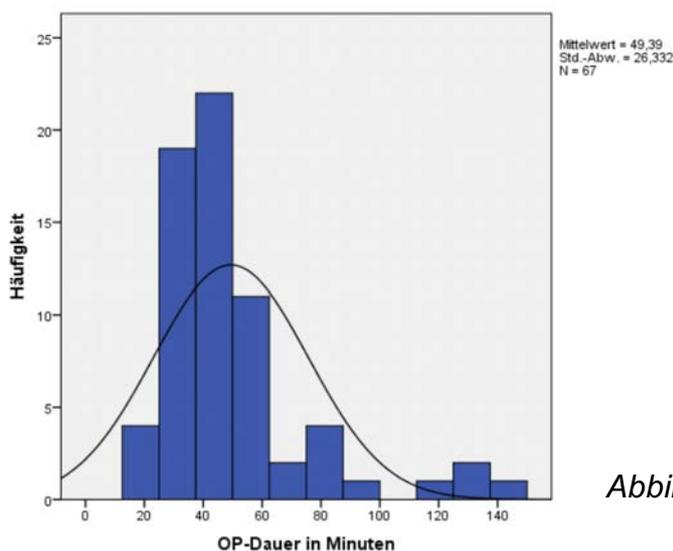


Abbildung 22: Operationsdauer

## 7.4 Enklavation der Haptiken

Die Evaluation der Enklavation im Irisgewebe erfolgt an verschiedenen relevanten Positionen. Die jeweils nasale bzw. temporale Enklavation der beiden Haptiken einer Irisklauenlinse wird aus Sicht auf das jeweilige Auge mit 9 und 3 Uhr bezeichnet. Es erfolgt in der Longitudinalebene zu den Haptiken die Messung von sechs unterschiedlichen Punkten mit der Erhebung von insgesamt neun Messwerten. In der Transversalebene zu den Haptiken werden ebenfalls sechs unterschiedliche Punkte mit insgesamt acht Messwerten erfasst.

Longitudinal zu den Haptiken werden Breite und Tiefe des Gewebsteils hinter der Enklavation, der Versatz der Haptiken, die Distanz Tangente der höchsten benachbarten Punkte auf der Iris zum tiefsten Punkt des enklavierten Gewebes, die Dicke des Irispigmentepithelblatts beidseits der Enklavation und die Gewebsmächtigkeit des Irisstromas an stärkster Position beidseits der Enklavation erfasst.

Transversal zu den Haptiken wird das Irisstroma hinter und vor dem Haptikquerschnitt, die Distanz der inneren Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum, die höchste Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation, die Irispigmentepitheldicke und die Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes hinter der Enklavation erfasst.

Die definierten Messpunkte werden zunächst deskriptiv hinsichtlich Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardfehler des Mittelwertes sowie Standardabweichung untersucht. Hierbei folgt eine nochmalige Untergliederung der gemessenen Daten in drei verschiedene Kategorien. Die erste Gruppe beinhaltet die Analyse der Messwerte des rechten Auges, die zweite die Analyse der Messwerte des linken Auges und die letzte Gruppe bezieht sich auf die Gesamtheit aller Augen. Ebenso wird betrachtet, ob sich Unterschiede bei der Enklavation der Haptiken auf 9 beziehungsweise 3 Uhr ergeben.

Durch teilweise fehlerhafte Aufnahmen, bei denen eine aussagekräftige Messung nicht möglich ist, können nicht bei jedem Patienten alle gewünschten Messwerte vollständig erhoben werden. Insgesamt können aber bei 63 Patienten die Werte aller Messpunkte ermittelt werden, bei einigen Messpunkten können sogar die Werte von bis zu 70 Augen ermittelt werden.

### 7.4.1 Longitudinale Darstellungsebene

Bei der Messung der Breite des Gewebeteils hinter der Enklavation zeigt sich über alle gemessenen Augen auf der 9 Uhr Position ein Mittelwert von  $782,72 \mu\text{m} \pm 236,30 \mu\text{m}$  (Min.  $293 \mu\text{m}$ ; Max.  $1535 \mu\text{m}$ ). An der Fixationsstelle auf 3 Uhr liegen die Werte über alle Augen bei  $767,06 \mu\text{m} \pm 321,6 \mu\text{m}$  (Min.  $264 \mu\text{m}$ ; Max.  $1810 \mu\text{m}$ ).

Nach Augen differenziert liegt bei 9 Uhr der Mittelwert auf der rechten Seite bei  $821,74 \mu\text{m} \pm 261,69 \mu\text{m}$ , bei den linken Augen bei  $739,94 \mu\text{m} \pm 200,46 \mu\text{m}$ . Auf 3 Uhr liegt bei den rechten Augen der Mittelwert bei  $760,44 \mu\text{m} \pm 281,84 \mu\text{m}$ , auf der linken Seite bei  $774,09 \mu\text{m} \pm 363,6 \mu\text{m}$ .

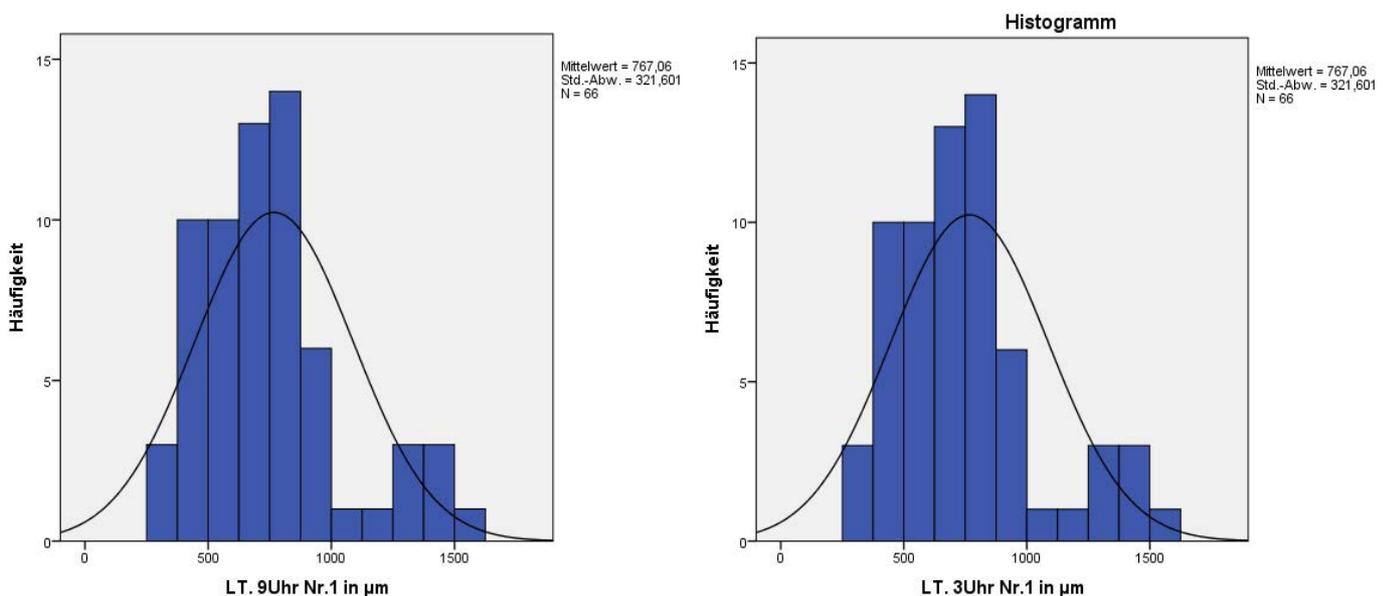
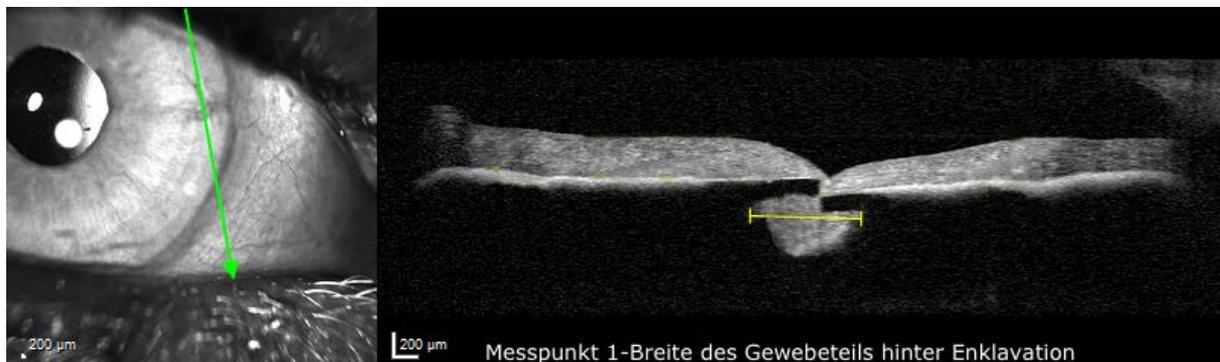


Abbildung 23: Messung der Breite des Gewebeteils hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

Die Tiefe des rückseitig enklavierten Gewebes beträgt bei 9 Uhr über alle Augen gemessen im Mittel  $403,26 \mu\text{m} \pm 94,20 \mu\text{m}$  (Min.  $160 \mu\text{m}$ ; Max.  $626 \mu\text{m}$ ). Bei 3 Uhr liegt der Mittelwert bei  $395,11 \mu\text{m} \pm 123,54 \mu\text{m}$  (Min.  $133 \mu\text{m}$ ; Max.  $861 \mu\text{m}$ ) und weicht damit nur gering von dem 9 Uhr Wert ab.

Bei 9 Uhr beträgt der Mittelwert am rechten Auge  $399,20 \mu\text{m} \pm 95,51 \mu\text{m}$ , am linken Auge kaum veränderte  $407,84 \mu\text{m} \pm 94,08 \mu\text{m}$ . Auf 3 Uhr wird bei den rechten Augen ein Mittelwert von  $393,32 \mu\text{m} \pm 135,06 \mu\text{m}$  gemessen, auf der linken Seite liegt der Wert ebenfalls kaum verändert bei  $397,00 \mu\text{m} \pm 112,15 \mu\text{m}$ .

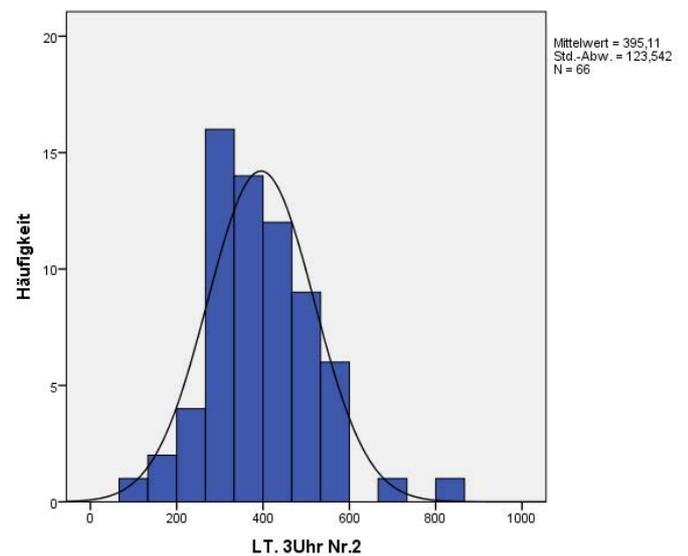
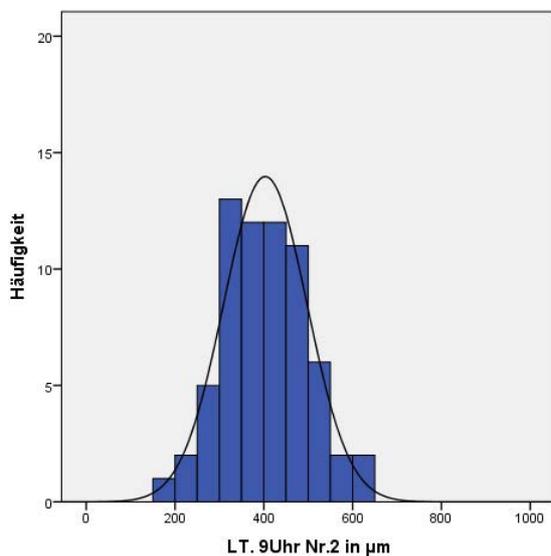
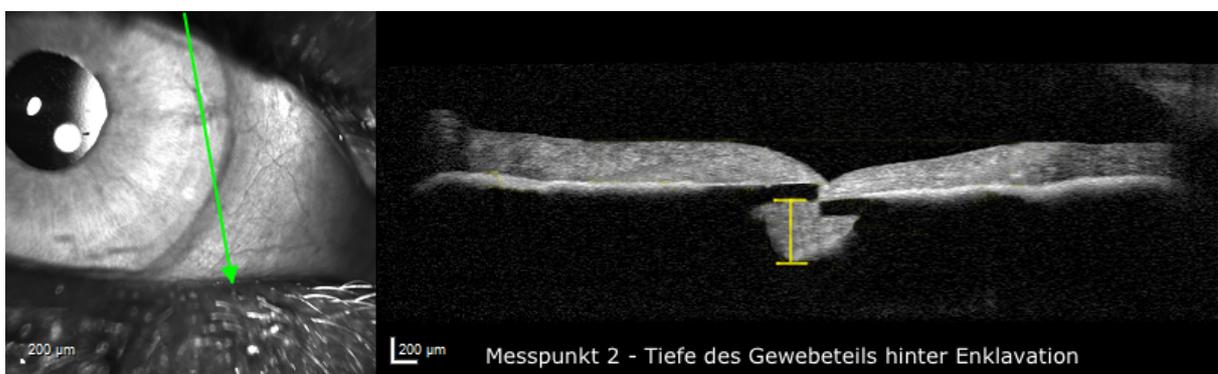


Abbildung 24: Messung der Tiefe des Gewebeteils hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

Mit dem dritten Wert wird der Versatz der Haptiken erfasst. Hier zeigt sich bei 9 Uhr über alle Augen ein Durchschnittswert von  $96,44 \mu\text{m} \pm 48,09 \mu\text{m}$  mit einem Minimum von  $14 \mu\text{m}$  und einem Maximum von  $176 \mu\text{m}$ . Auf der 3 Uhr Position zeigen sich vergleichbare Werte mit einem Mittelwert bei  $95,34 \mu\text{m} \pm 45,09$  (Min.  $0 \mu\text{m}$ ; Max.  $170 \mu\text{m}$ ).

Auf 9 Uhr beträgt bei den rechten Augen der Mittelwert  $94,51 \mu\text{m} \pm 45,05 \mu\text{m}$ , auf der linken Seite  $98,61 \mu\text{m} \pm 51,98 \mu\text{m}$ . Bei 3 Uhr liegt rechts der Durchschnitt bei  $102,22 \mu\text{m} \pm 44,83 \mu\text{m}$  und links bei  $88 \mu\text{m} \pm 45,00 \mu\text{m}$ .

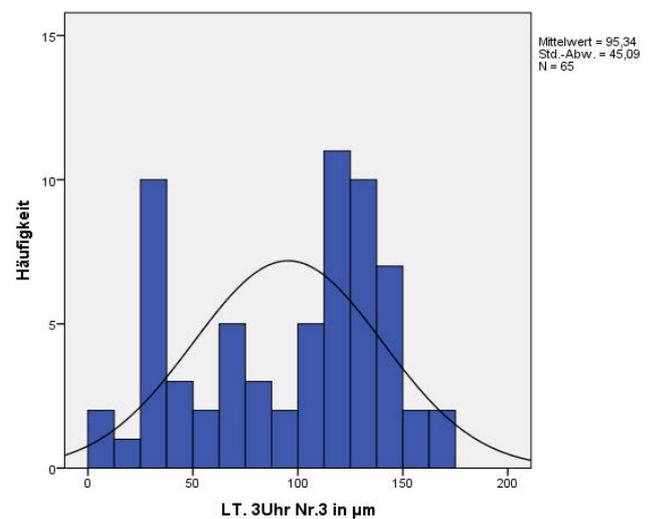
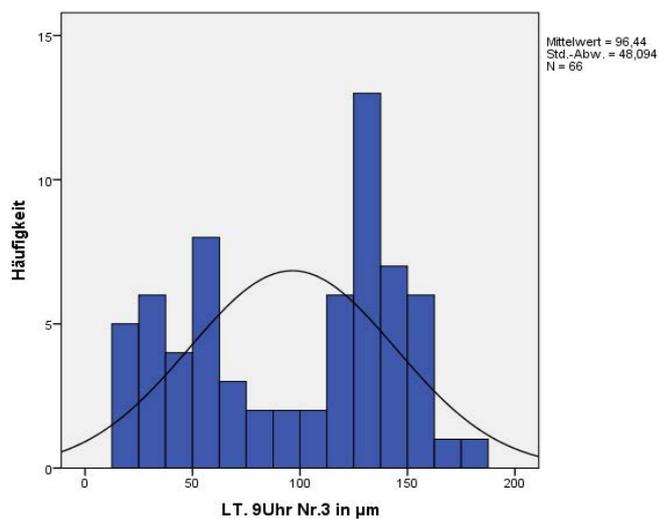


Abbildung 25: Messung des Versatz der Haptiken mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

Weiterhin wird die Distanz der Tangente von den höchsten benachbarten Punkten auf der Iris zum tiefsten Punkt des enklavierten Gewebes vermessen. Bei 9 Uhr liegt der Gesamtmittelwert über alle Augen bei  $905,54 \mu\text{m} \pm 130,38$  (Min.  $602 \mu\text{m}$ ; Max.  $1239 \mu\text{m}$ ). Bei 3 Uhr wird ein ähnlicher Mittelwert von  $916,22 \mu\text{m} \pm 130,02 \mu\text{m}$  (Min.  $575 \mu\text{m}$ ; Max.  $1333 \mu\text{m}$ ) über alle gemessenen Augen ermittelt.

Auf der 9 Uhr Position beträgt der Mittelwert dabei auf der rechten Seite  $911,76 \mu\text{m} \pm 124,22 \mu\text{m}$ , auf der linken Seite  $898 \mu\text{m} \pm 138,57 \mu\text{m}$ . Auf 3 Uhr liegen die Mittelwerte am rechten Auge bei  $929,44 \mu\text{m} \pm 145,85 \mu\text{m}$  und am linken Auge bei  $902,61 \mu\text{m} \pm 112,04 \mu\text{m}$ .

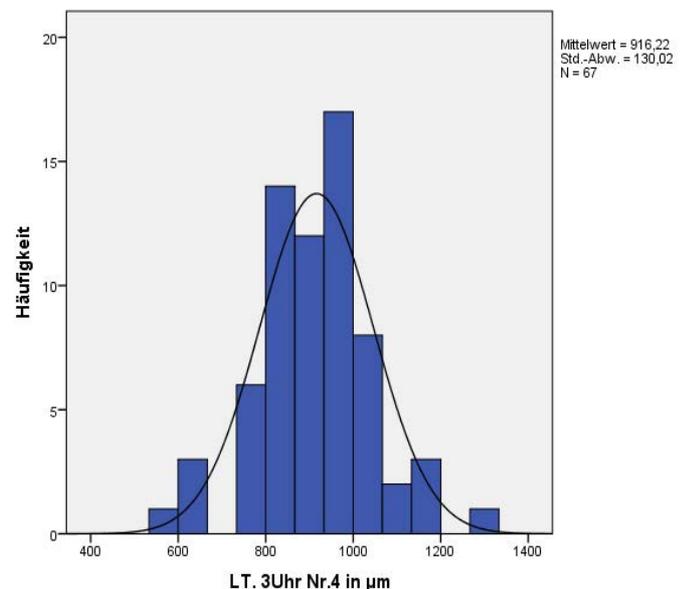
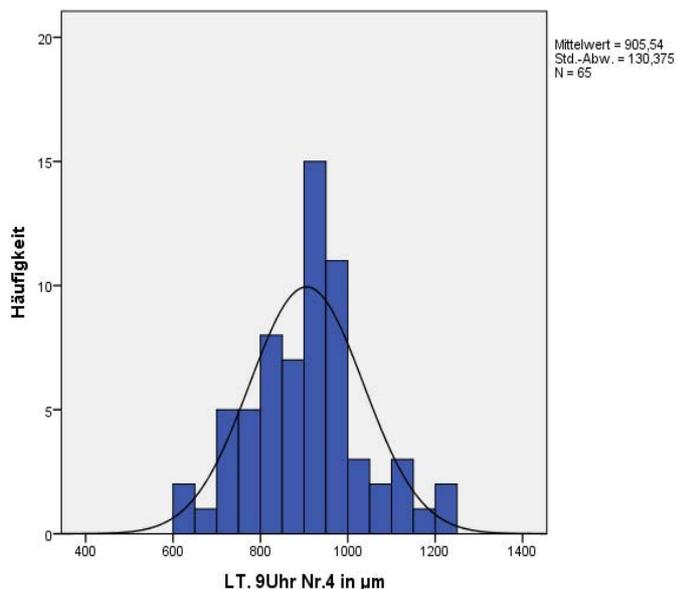
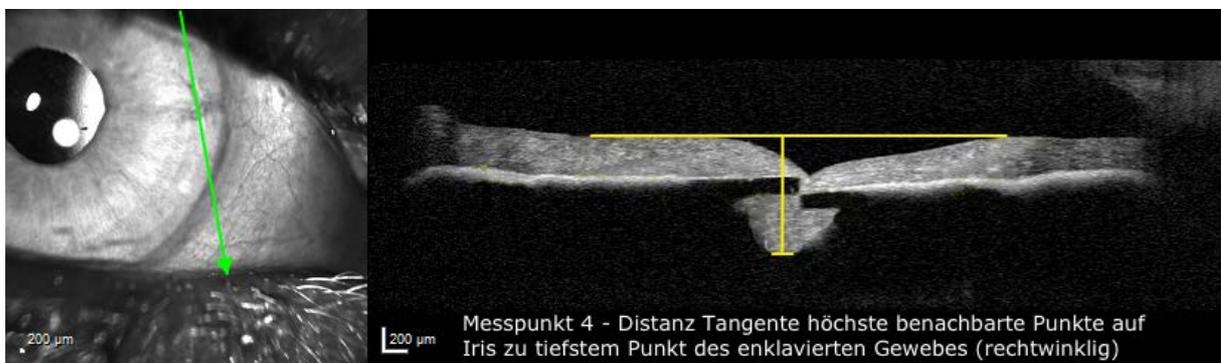


Abbildung 26: Messung der Distanz Tangente höchste benachbarte Punkte auf Iris zu tiefstem Punkt des enklavierten Gewebes mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte bei 9 Uhr und 3 Uhr

Eine weitere Messreihe bezieht sich auf die Dicke des Iripigmentepithels beidseits der Enklavation. Hier werden insgesamt 3 Daten, sofern möglich äquidistant über die Gesamtstrecke der OCT, erhoben. Bei 9 Uhr sowie bei 3 Uhr unterscheiden sich die Daten aller Augen und der jeweils einzelnen Augen lediglich minimal.

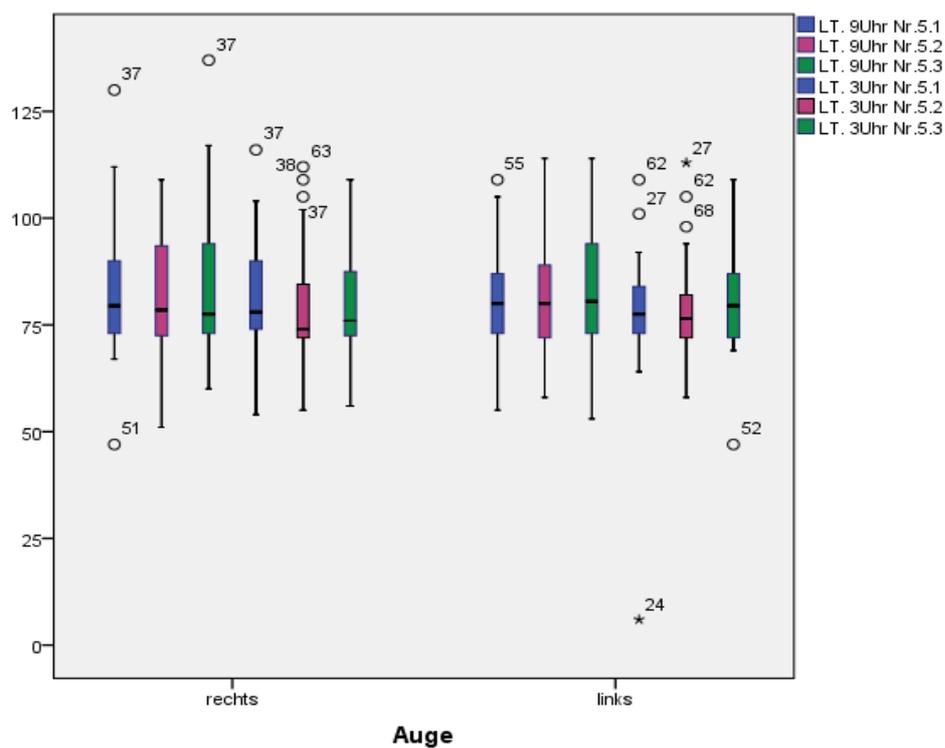


Abbildung 27: Messung der Dicke des Iripigmentepithels beidseits der Enklavation auf je drei Punkten mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte bei 9 Uhr und 3 Uhr rechtes und linkes Auge (unten)

Die Gewebmächtigkeit des Irisstromas an stärkster Position jeweils beidseits der Haptik ist die letzte Größe, die in longitudinaler Ebene vermessen wird. Somit liegen hier jeweils 2 Werte vor, die pro Fixationsstelle separat erhoben werden. Auf der 9 Uhr Position liegt die stärkste Gewebmächtigkeit unter Berücksichtigung aller Augen bei durchschnittlich  $316,2\ \mu\text{m} \pm 65,72\ \mu\text{m}$  (Min.  $182\ \mu\text{m}$ ; Max.  $440\ \mu\text{m}$ ) und  $327,11\ \mu\text{m} \pm 72,64\ \mu\text{m}$  (Min.  $271,0\ \mu\text{m}$ ; Max.  $318,0\ \mu\text{m}$ ). In gegenüberliegender Position auf 3 Uhr liegen die Mittelwerte der beiden Messpunkte bei  $328,12\ \mu\text{m} \pm 64,62\ \mu\text{m}$  (Min.  $199\ \mu\text{m}$ ; Max.  $472\ \mu\text{m}$ ) und  $322,01\ \mu\text{m} \pm 64,91\ \mu\text{m}$  (Min.  $125\ \mu\text{m}$ ; Max.  $456\ \mu\text{m}$ ).

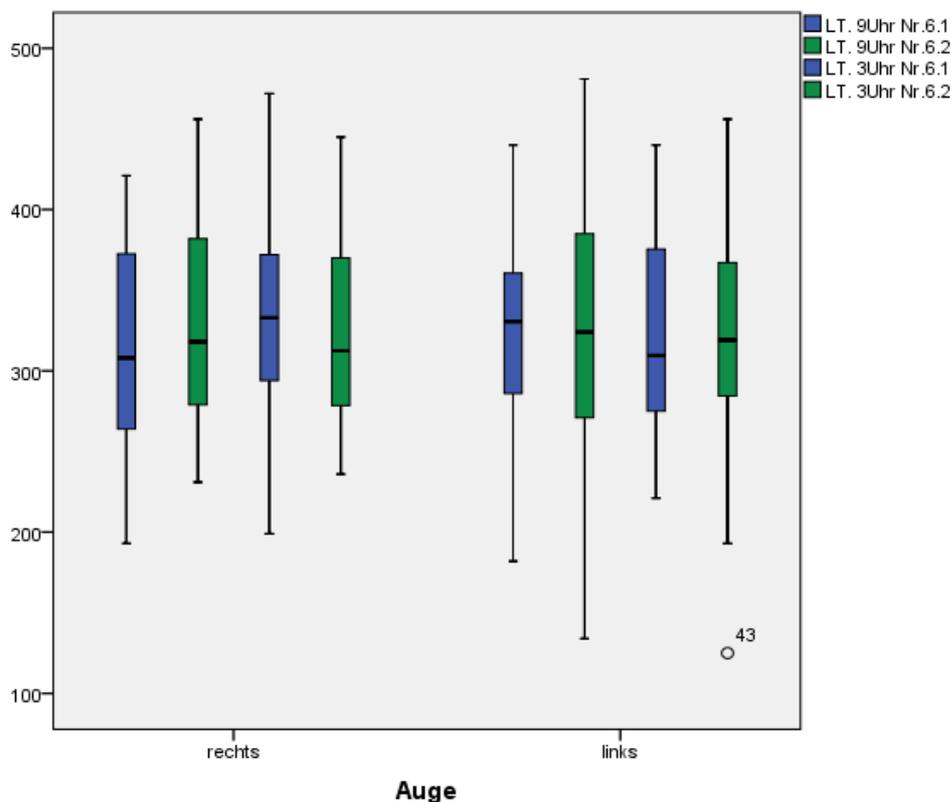


Abbildung 28: Messung der Gewebmächtigkeit des Irisstromas an stärkster Position jeweils beidseits der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messwerte im Vergleich 9 und 3 Uhr und rechtes zu linkem Auge (unten)

## 7.4.2 Transversale Darstellungsebene

Auch in der transversalen Ebene gibt es pro Enklavationsposition 6 verschiedene Messpunkte, jeweils bei 9 und 3 Uhr.

Die erste Messung betrifft die Dicke des Irisstromas hinter der Haptik. Auf 9 Uhr erreicht sie im Mittel  $320,12\ \mu\text{m}$  mit einer Standardabweichung von  $110,81\ \mu\text{m}$  und einem Minimum von  $105\ \mu\text{m}$  und einem Maximum von  $607\ \mu\text{m}$ . Auf der 3 Uhr Position ergibt sich ein Mittelwert von  $292,67\ \mu\text{m} \pm 91,1\ \mu\text{m}$  mit einem Minimum von  $87\ \mu\text{m}$  und Maximum von  $393\ \mu\text{m}$ .

Die nach Augen getrennte Berechnung ergibt auf 9 Uhr rechtsseitig einen Mittelwert von  $301,75\ \mu\text{m} \pm 91,28\ \mu\text{m}$  und linksseitig  $340,21\ \mu\text{m} \pm 127,20\ \mu\text{m}$ . Bei 3 Uhr ergeben sich bei der Betrachtung der rechten und linken Augen nah beieinander liegende Mittelwerte von  $288,81\ \mu\text{m} \pm 92,93\ \mu\text{m}$  und  $296,53\ \mu\text{m} \pm 90,38\ \mu\text{m}$ .

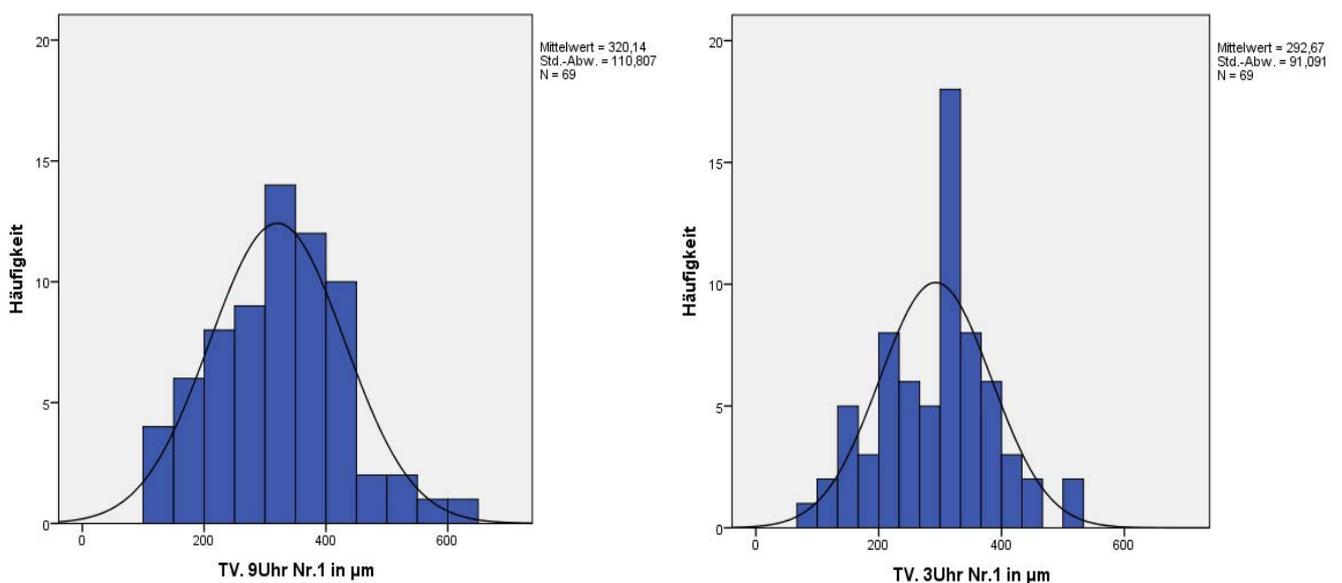
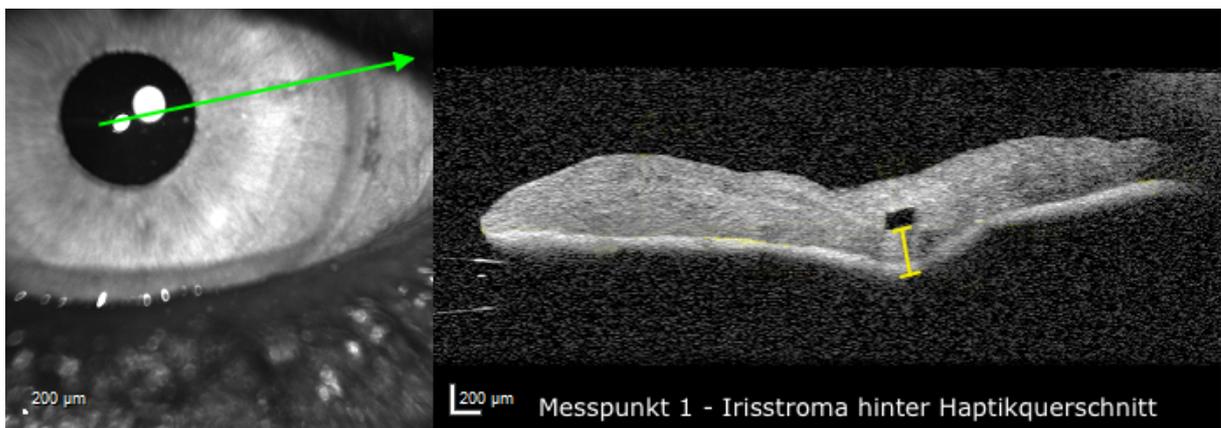


Abbildung 29: Messung des Irisstromas hinter der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

Die Messung der Dicke des Irisstromas vor der Haptik ergibt bei 9 Uhr einen Mittelwert von  $135,14 \mu\text{m} \pm 49,68 \mu\text{m}$  (Min.  $52 \mu\text{m}$ ; Max.  $260 \mu\text{m}$ ) und bei 3 Uhr einen vergleichbaren Mittelwert von  $142,21 \mu\text{m} \pm 60,86 \mu\text{m}$  (Min.  $57 \mu\text{m}$ ; Max.  $393 \mu\text{m}$ ). Rechte Augen zeigen dabei auf 9 Uhr Werte von  $141,86 \mu\text{m} \pm 52,20 \mu\text{m}$  bzw.  $125,80 \mu\text{m} \pm 40,02 \mu\text{m}$  bei 3 Uhr. Auf 9 Uhr ergibt die Messung bei den linken Augen einen Mittelwert von  $128,03 \mu\text{m} \pm 46,58 \mu\text{m}$  und auf 3 Uhr einen Mittelwert von  $158,63 \mu\text{m} \pm 73,22 \mu\text{m}$ .

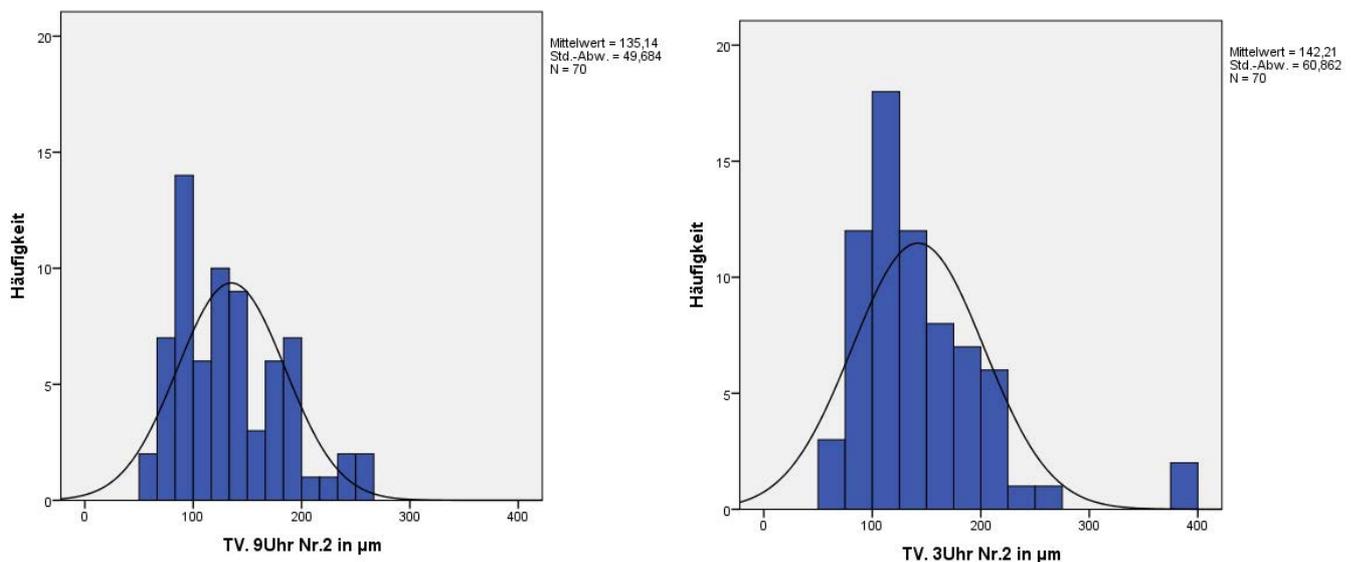
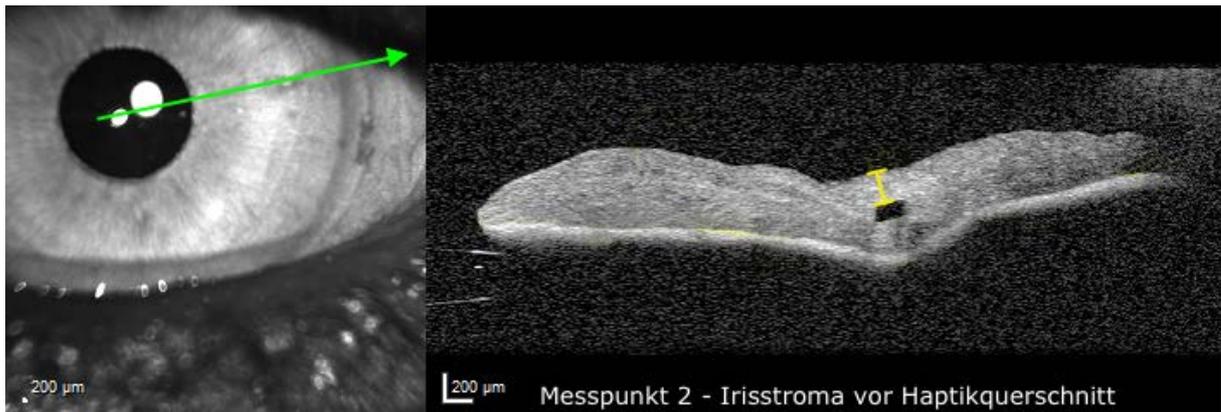


Abbildung 30: Messung des Irisstroma vor der Haptik mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr (links) und 3 Uhr (rechts)

Dritter erhobener Messwert ist die Distanz der inneren Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum. Der Mittelwert bei 9 Uhr liegt bei  $2.497,04 \mu\text{m} \pm 570,90 \mu\text{m}$  mit einem Minimum von  $1.245 \mu\text{m}$  und einem Maximum von  $3.869 \mu\text{m}$ . Bei 3 Uhr findet sich ein fast identischer Mittelwert von  $2.502,17 \mu\text{m} \pm 668,12 \mu\text{m}$  mit einem Minimum von  $1.238 \mu\text{m}$  und einem Maximum von  $4.346 \mu\text{m}$ .

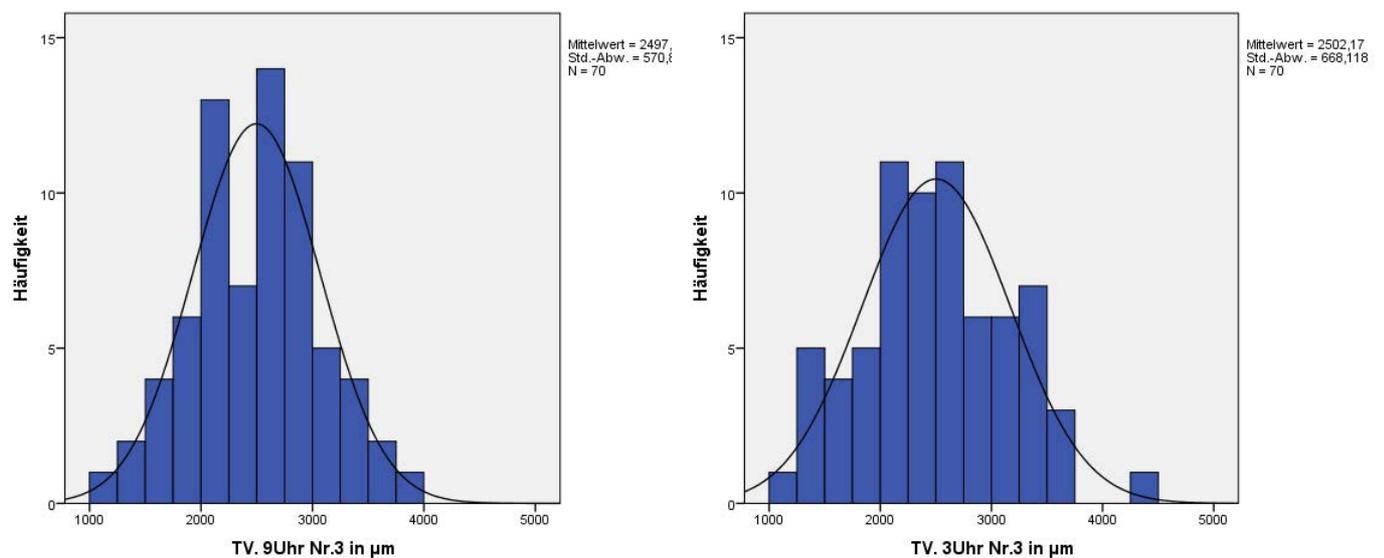
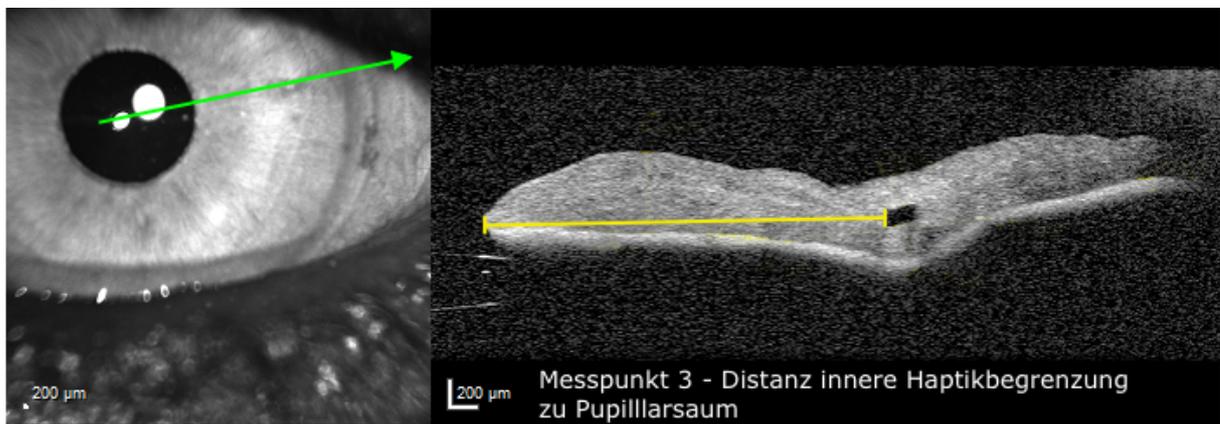


Abbildung 31: Messung der Distanz innere Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

Das Messprotokoll sieht als nächsten Punkt die Evaluation der Höhe der Gewebsmächtigkeit des Irisstromas am höchsten Punkt innerhalb der Enklavation vor. Auch hier findet sich mit Mittelwerten von  $408,03\ \mu\text{m} \pm 75,12\ \mu\text{m}$  (Min. 211  $\mu\text{m}$ ; Max. 605  $\mu\text{m}$ ) bei 9 Uhr und  $407,67\ \mu\text{m} \pm 78,71\ \mu\text{m}$  (Min. 180  $\mu\text{m}$ ; Max. 579  $\mu\text{m}$ ) bei 3 Uhr eine nur geringe Abweichung.

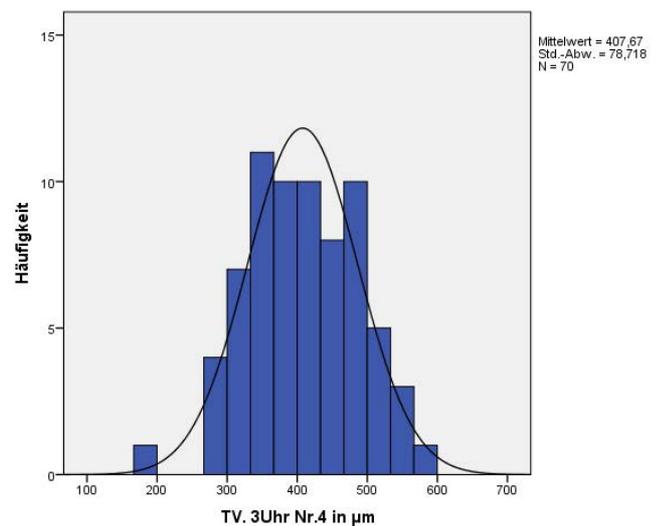
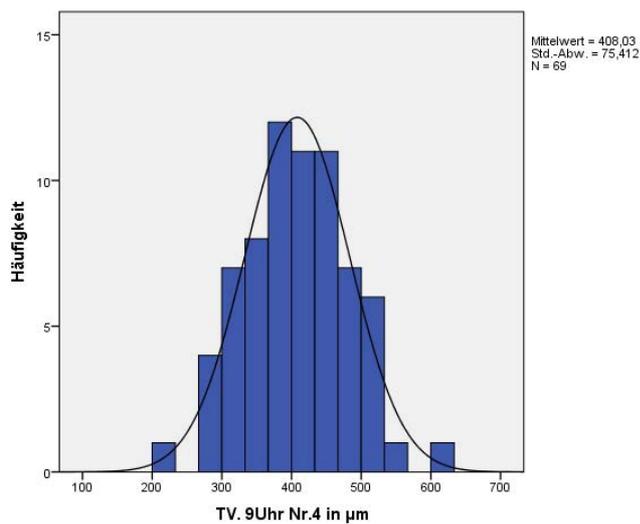
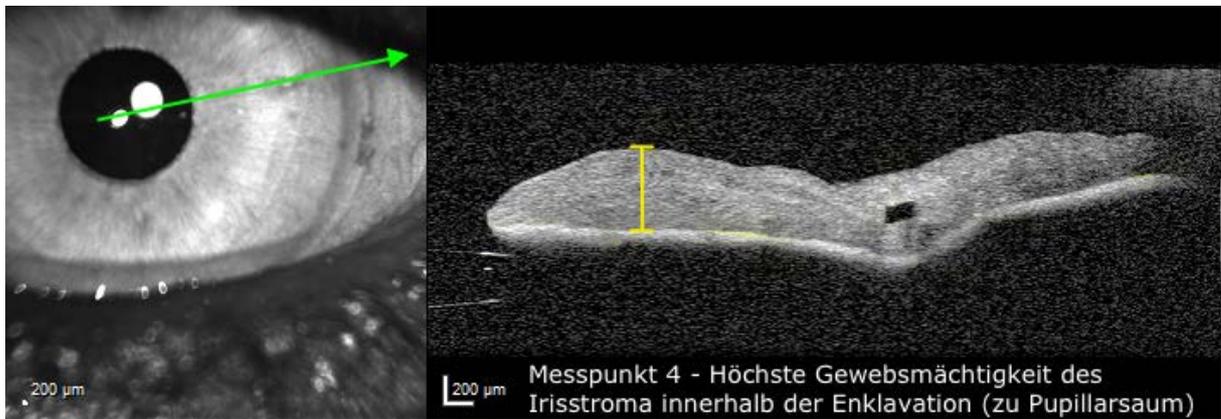


Abbildung 32: Messung der Höhe der Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr (links) und 3 Uhr (rechts)

Bei der Messung der Dicke des Irispigmentepithels werden wie bei der longitudinalen Messung drei möglichst äquidistante Werte bestimmt. Die drei Epitheldicken zeigen sowohl auf 9 Uhr und 3 Uhr als auch im Vergleich des rechten zum linken Auge keine großen Abweichungen, womit die Ergebnisse den Beobachtungen der longitudinalen Aufsicht gleichkommen. Hier werden Werte um die 80  $\mu\text{m}$  gemessen.

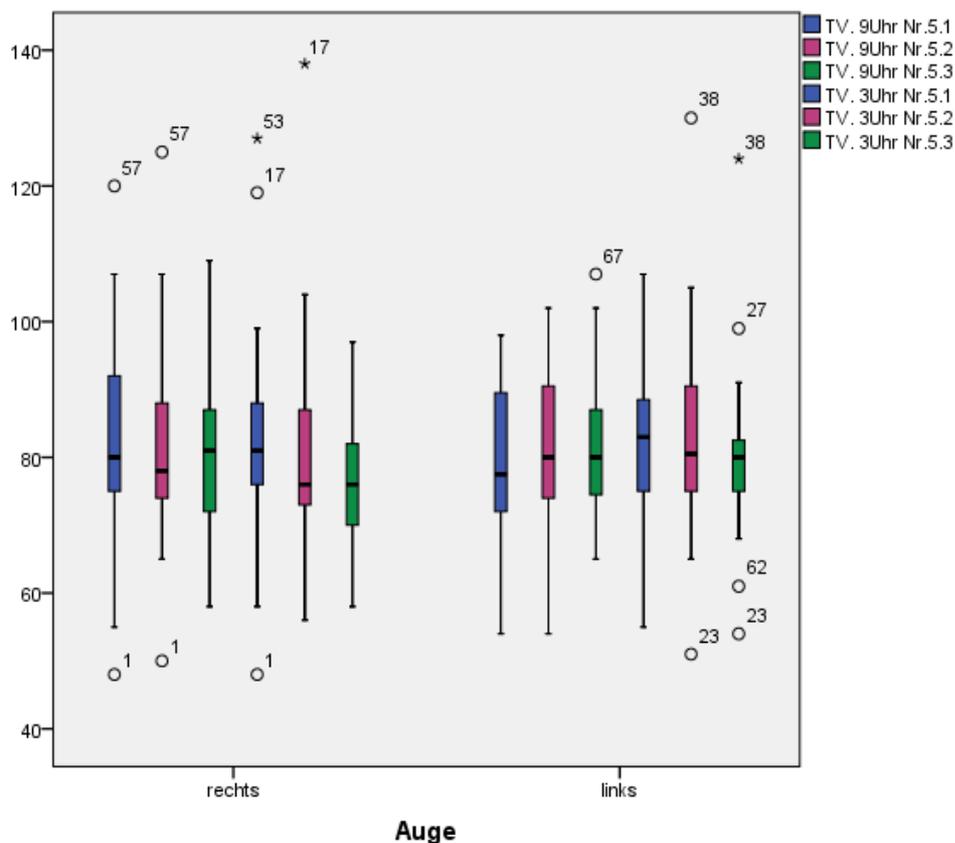
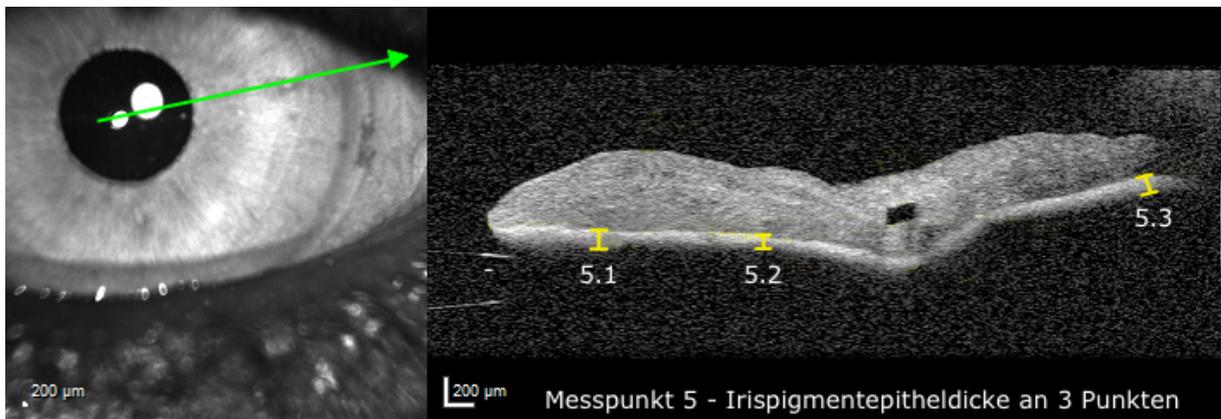


Abbildung 33: Messung der Höhe der Gewebmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse (unten)

Zum Schluss wird die Breite der posterioren Auslenkung des Irsgewebes rückseitig der Enklavation gemessen. Auf 9 Uhr wird ein Mittelwert von  $1.831,88 \mu\text{m} \pm 413,83 \mu\text{m}$  (Min.  $0 \mu\text{m}$ ; Max.  $2630 \mu\text{m}$ ) gemessen, bei 3 Uhr ein Wert von  $1.683,00 \mu\text{m} \pm 448,88 \mu\text{m}$  (Min.  $0 \mu\text{m}$ ; Max.  $2712 \mu\text{m}$ ). Die Minima von  $0 \mu\text{m}$  werden unabhängig von der Position auf den linken Augen ermittelt. Die Mittelwerte liegen sowohl bei der Unterscheidung rechts und links, als auch bei 9 Uhr und 3 Uhr wieder in ähnlicher Größenordnung.

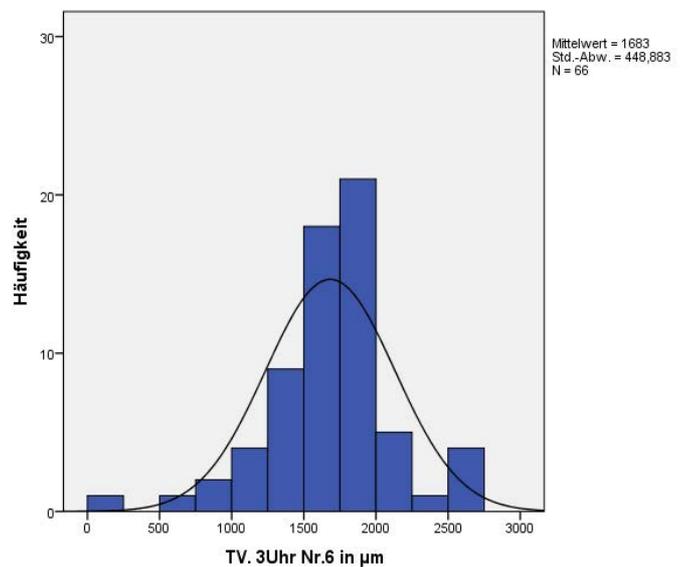
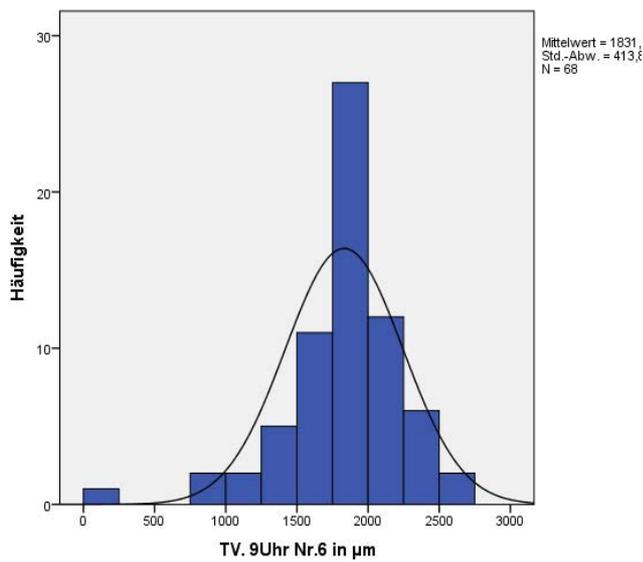
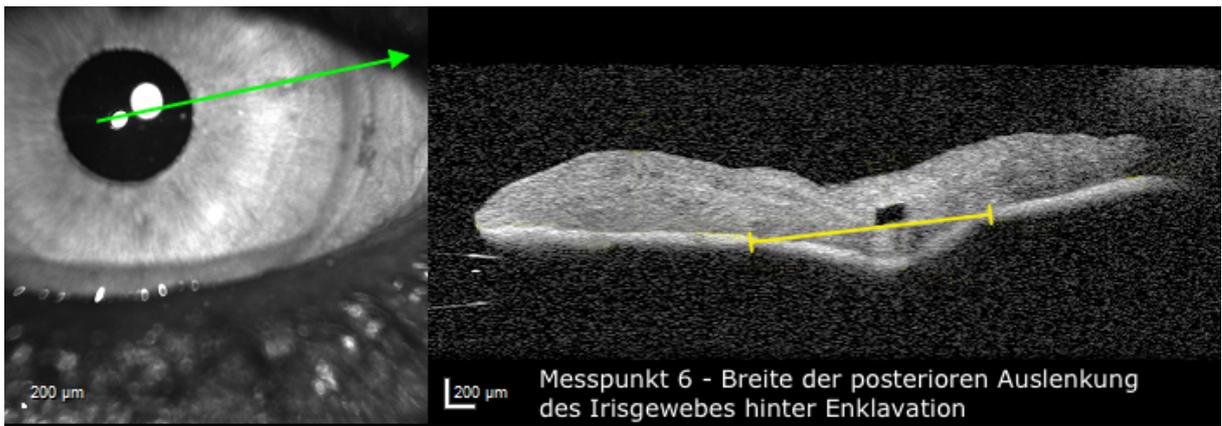


Abbildung 34: Messung der Breite der posterioren Auslenkung des Irsgewebe hinter der Enklavation mittels OCT (oben) und Darstellung der Messergebnisse auf 9 Uhr und 3 Uhr

### 7.4.3 Zusammenhangsanalyse

Zunächst erfolgt eine Analyse des Zusammenhanges der variablen Achsenlänge, Vorderkammertiefe, Linsenstärke und den verschiedenen Messwerten der longitudinalen und transversalen Ansicht. Da es sich jeweils um stetige Variablen handelte, wird der Korrelationskoeffizient nach Pearson gewählt. Die Variable Achsenlänge zeigt mit keinem der vermessenen Werte eine Korrelation.

Bei der Analyse von Vorderkammertiefe und Linsenstärke, gemessen in Dioptrie, sind dagegen 3 Zusammenhänge ersichtlich:

Transversal zur Haptik zeigt die 9 Uhr Position eine größere posteriore Auslenkung des Irisgewebes mit steigender Vorderkammertiefe, Pearson  $r = 0.321$  mit einem p-Wert von  $p = 0.041$ .

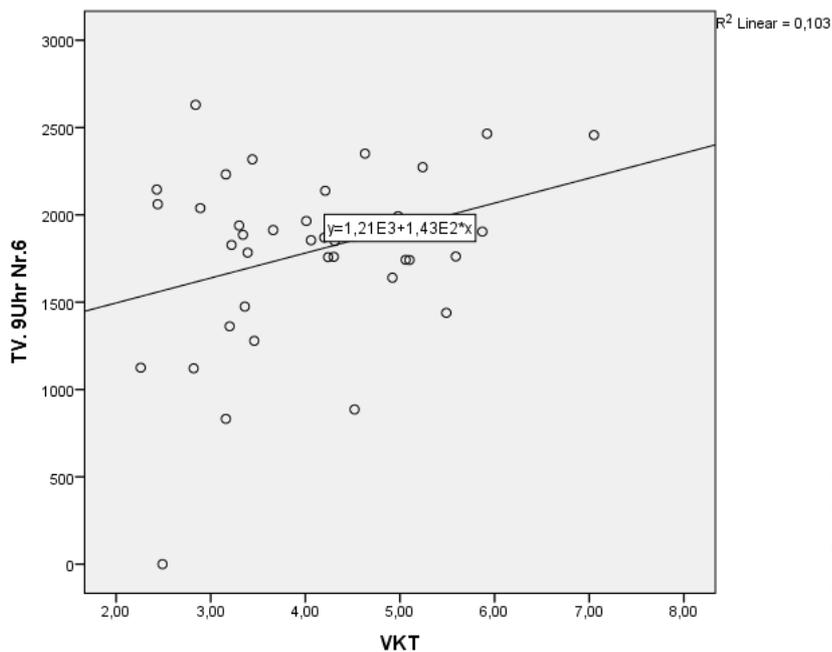
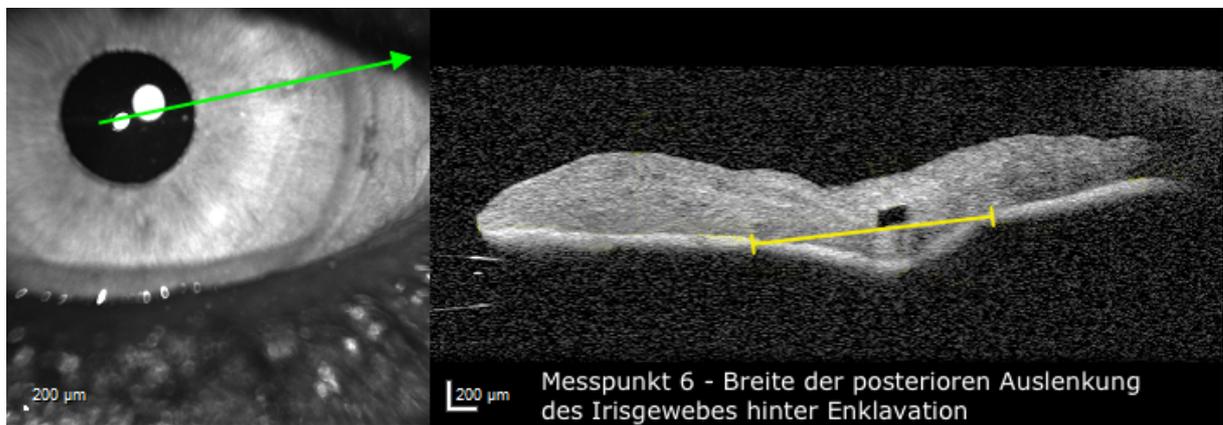


Abbildung 35: Zusammenhang von Vorderkammertiefe und Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes

In longitudinaler Aufsicht zeigt der Versatz der Haptiken größere Abweichungen, je höher die eingesetzte Linsenstärke ist ( $r = 0,337$ ,  $p = 0,007$ ).

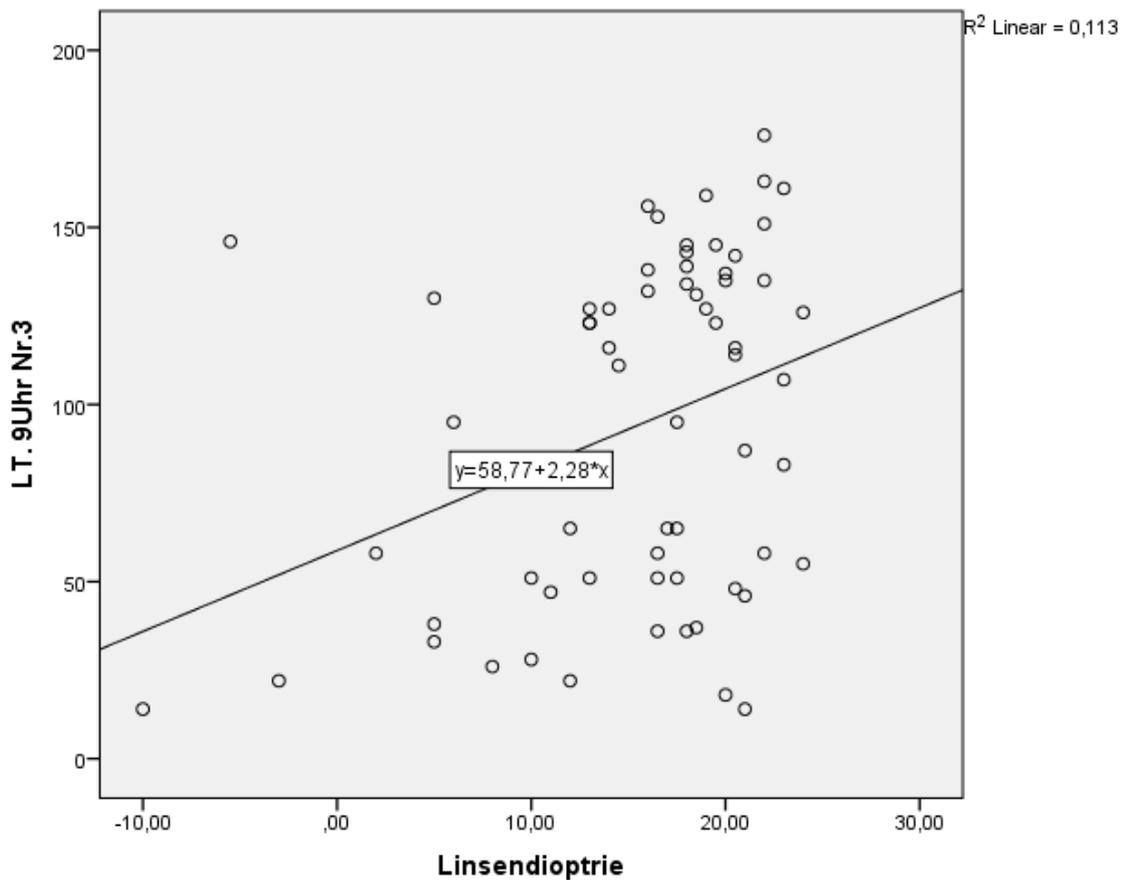


Abbildung 36: Zusammenhang Linsenstärke in dpt und Versatz der Haptiken in longitudinaler Ansicht

Hingegen findet sich auf 9 Uhr in transversaler Ansicht hinsichtlich einer Distanz zum inneren Pupillarsaum ein negativer Zusammenhang ( $r = -0,274$ ,  $p = 0,026$ ).

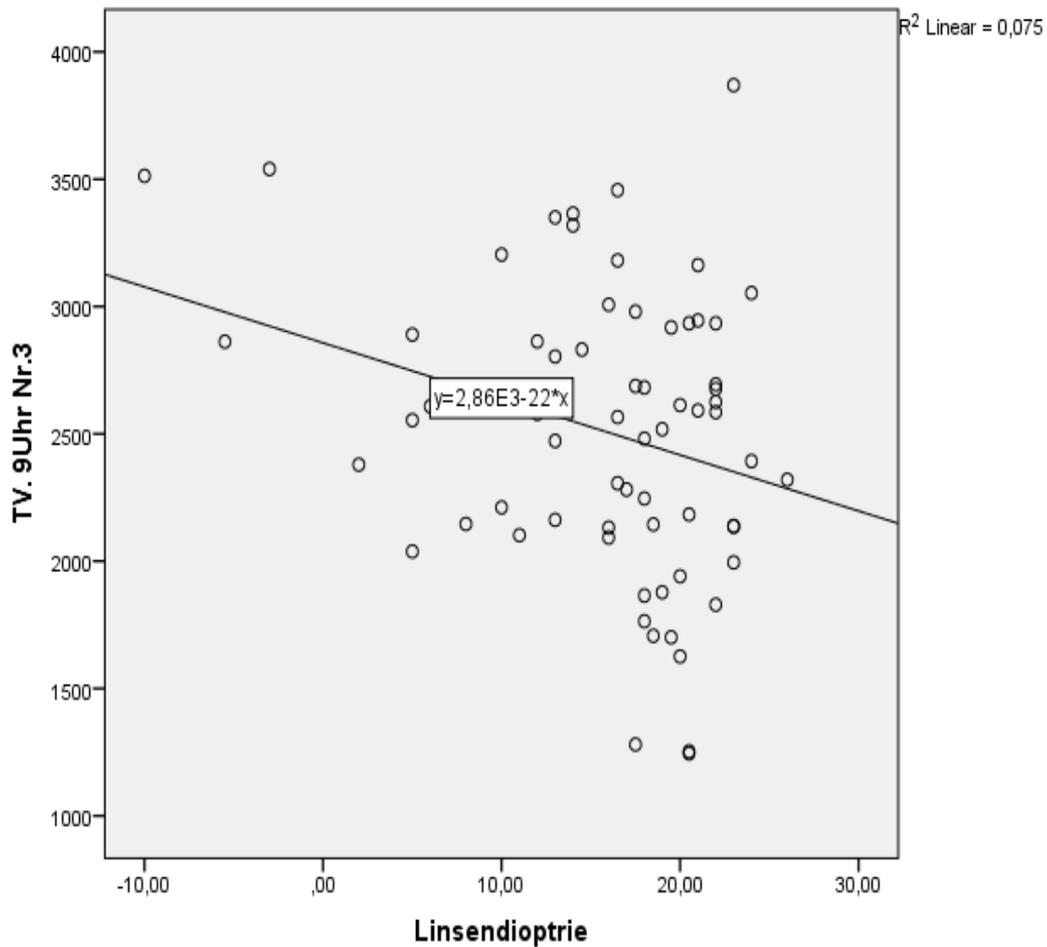
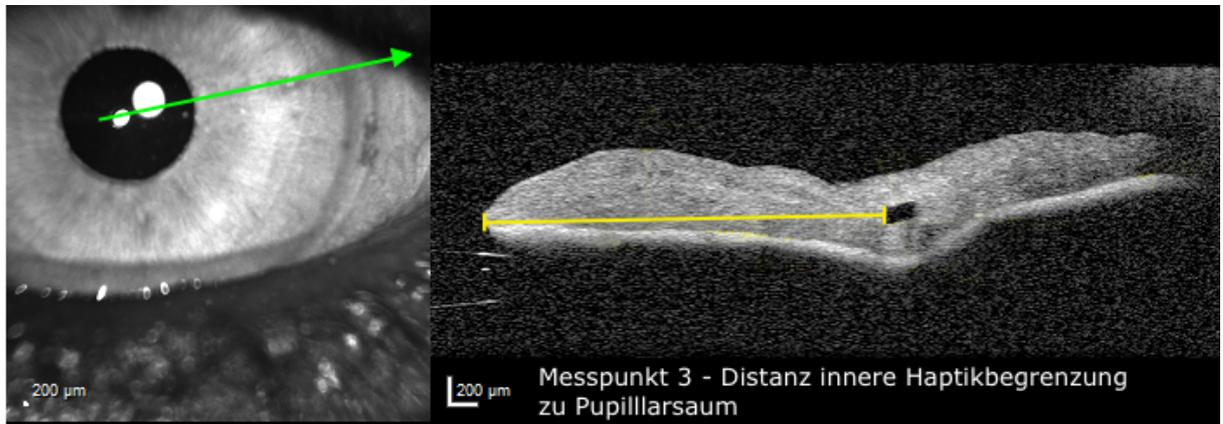


Abbildung 37: Zusammenhang Linsenstärke in dpt und Distanz zum Pupillarsaum

Eine letzte Korrelation wird zwischen Alter und der Breite des Gewebeteils hinter der Haptik auf der 3 Uhr Position in longitudinaler Ansicht ersichtlich. Die Punkt-biseriale Korrelation lag bei  $r=0,292$ . Der p-Wert des Tests beträgt  $p=0,018$ .

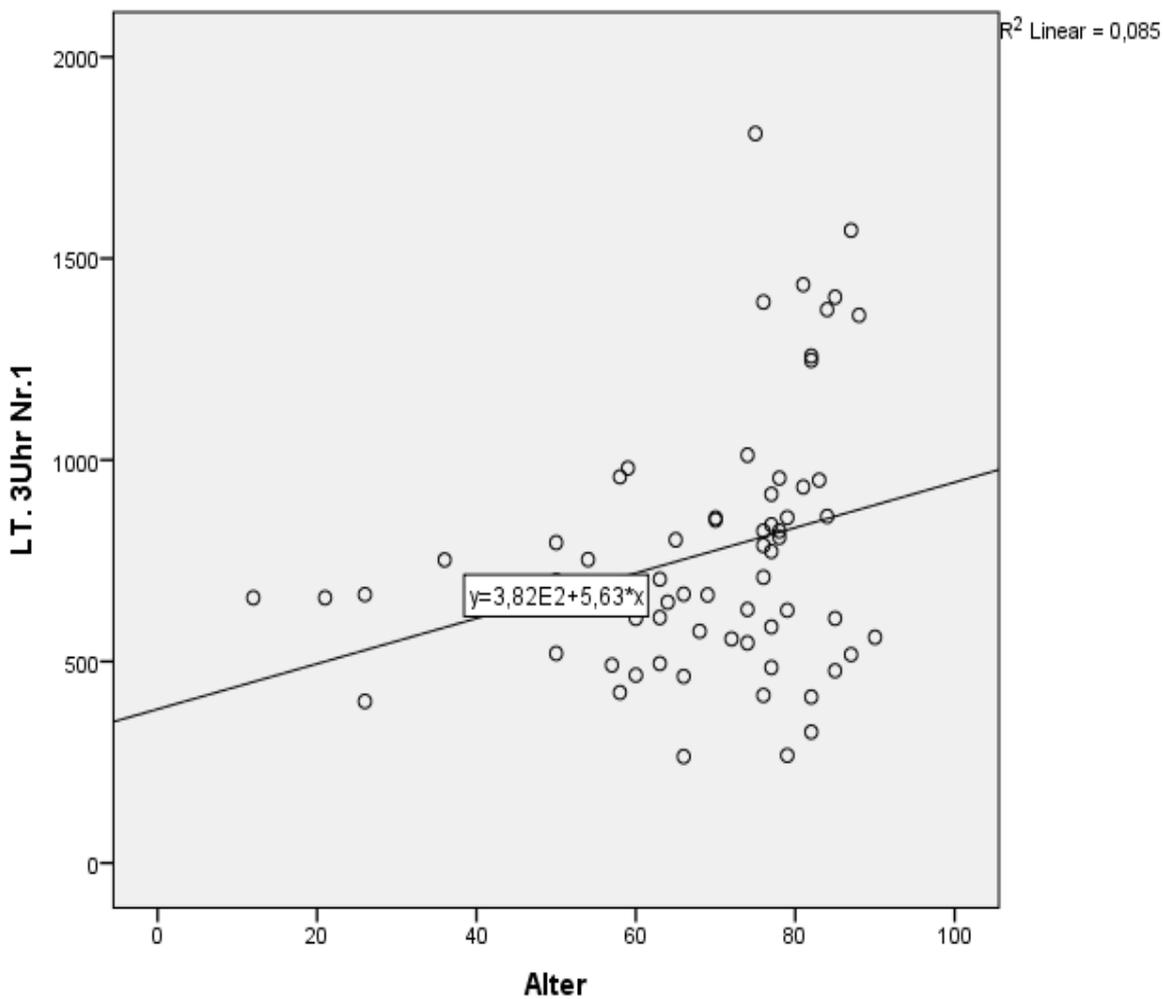
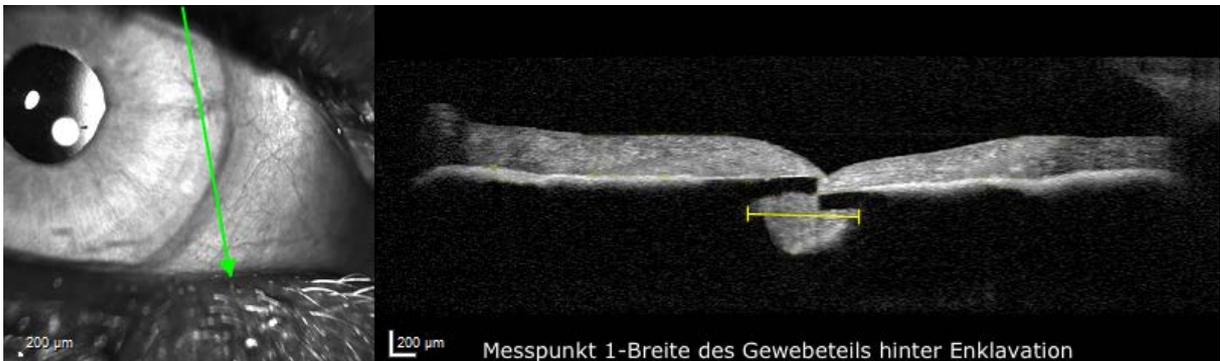


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Alter und Breite des Gewebeteils hinter der Haptik

Ebenso wird die Korrelation zwischen einem Pseudoexfoliationssyndrom (PEX), einem vorangegangenen Trauma oder einem Zustand nach Glaskörperentfernung und den definierten Messpunkten analysiert. Dieser potentielle Zusammenhang eines binären Merkmals mit stetigen Merkmalen wird mit Hilfe der Punkt-biserialen-Korrelation untersucht. Die Veranschaulichung der statistisch auffällig gewordenen Zusammenhänge wird mittels eines Boxplots dargestellt.

Bei den Patienten, bei denen bereits präoperativ ein vitrektomiertes Auge vorlag, scheint es keinen Einfluss auf die verschiedenen Messwerte zu geben. Bei der Betrachtung der Fälle mit einem Pseudoexfoliationssyndrom kann anhand von vier der definierten Messpunkte ein Zusammenhang gezeigt werden.

In der longitudinalen Ansicht betrifft dies die Dicke des Irispigmentepithels, welches - an zwei verschiedenen Stellen auf 9 Uhr vermessen - bei Vorliegen eines PEX eine größere Dicke aufweist ( $r = 0,279/r = 0,271$ ,  $p = 0,25/p = 0,033$ ).

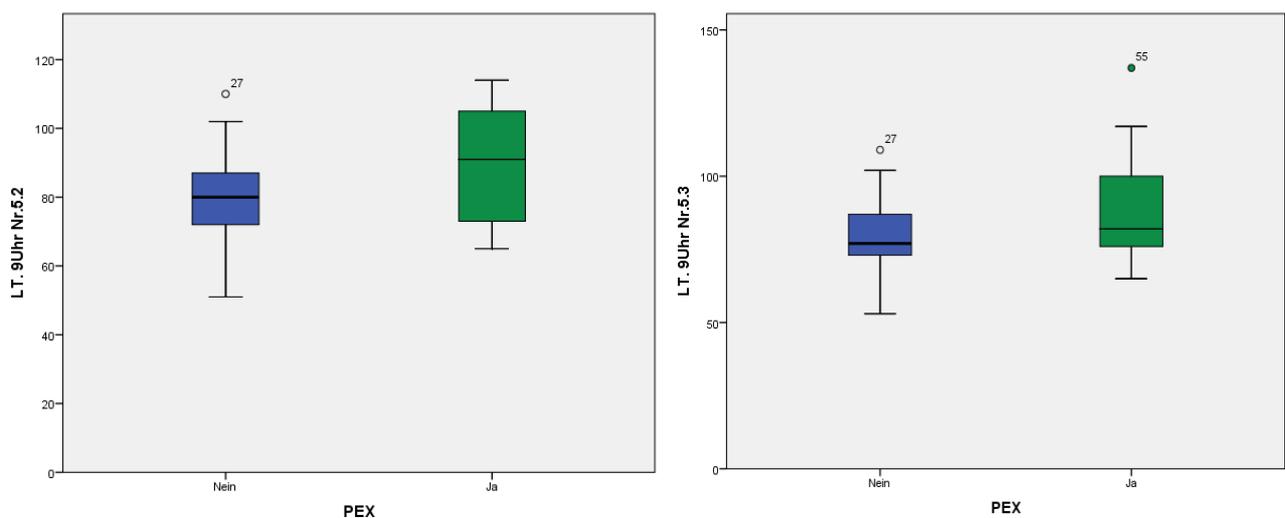


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndrom und größerer Irisepitheldicke an zwei Messpunkten

Auf der 3 Uhr Position findet sich bei Vorliegen eines PEX eine größere Gewebsbreite hinter der Enklavation. Dort zeigt sich eine Punkt-biseriale Korrelation von 0,294 und ein p-Wert von 0,018.

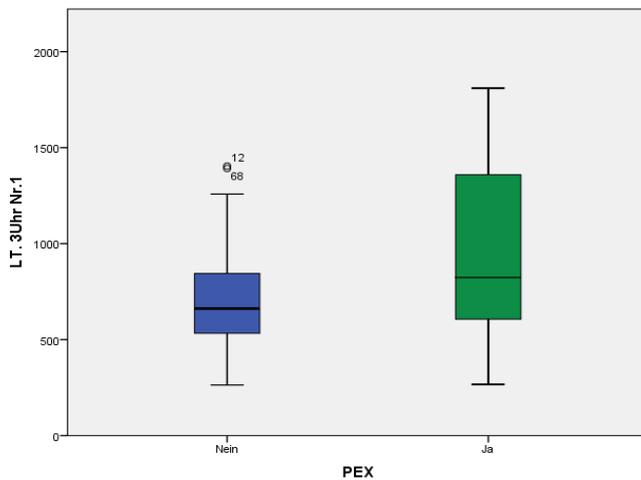
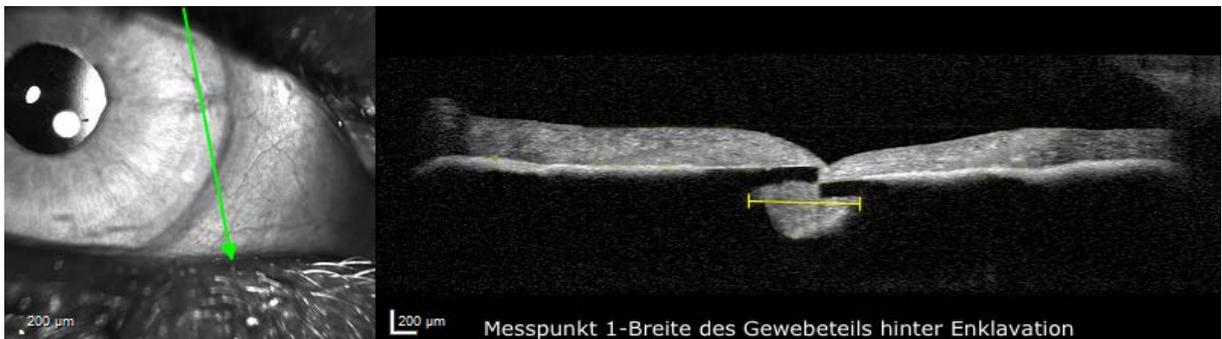


Abbildung 40: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndrom und größerer Gewebsbreite hinter der Enklavation

Die Gewebsmächtigkeit neben der Haptik zeigt eine negative Korrelation von  $r = -0,321$  und einen p-Wert von  $p = 0,008$ .

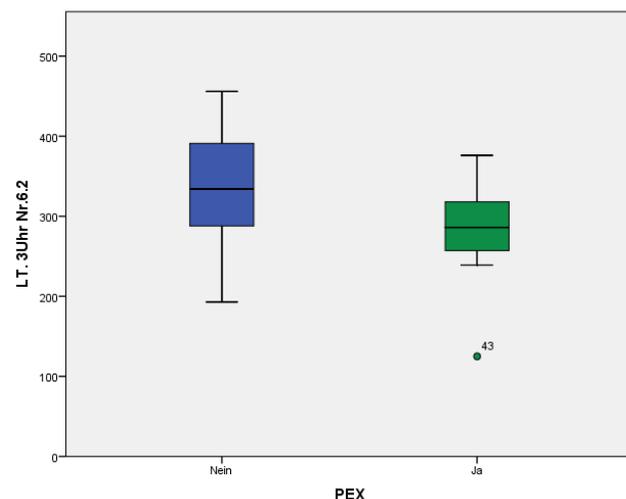


Abbildung 41: Zusammenhang zwischen Pseudoexfoliationssyndroms und Gewebsmächtigkeit neben der Haptik bei 3 Uhr in longitudinaler Ansicht

Bei Patienten mit Z.n. Trauma ist die Dicke des Irisgewebes neben der Haptik größer. Im Longitudinalschnitt auf 9 Uhr liegt bei Messpunkt 6.1 eine Korrelation von  $r=0,337$  ( $p=0,006$ ) in Bezug auf die Dicke des Irisgewebes neben der Haptik vor. Auf 3 Uhr zeigt der Messpunkt 4 nach Trauma eine erhöhte Distanz der Tangente der höchsten Irispunkte zum tiefsten Punkt des enklavierten Gewebes mit einer Korrelation von  $r=0,291$  und einem p-Wert von  $p=0,018$ .

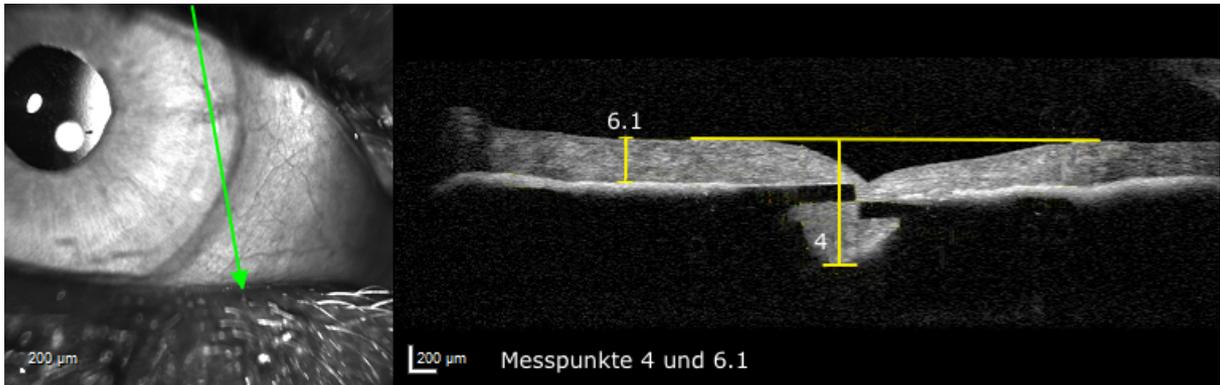


Abbildung 42: Messpunkte 4 und 6.1 im Longitudinalschnitt

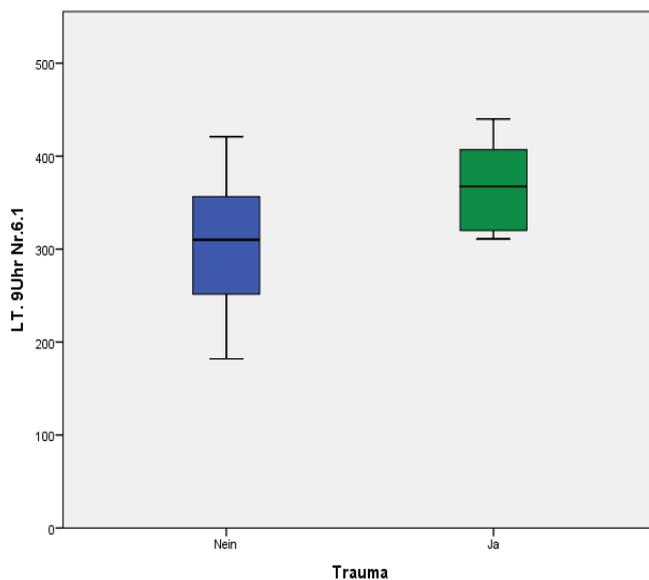


Abbildung 43: Einfluss vorangegangenes Trauma auf Gewebedicke neben der Haptik

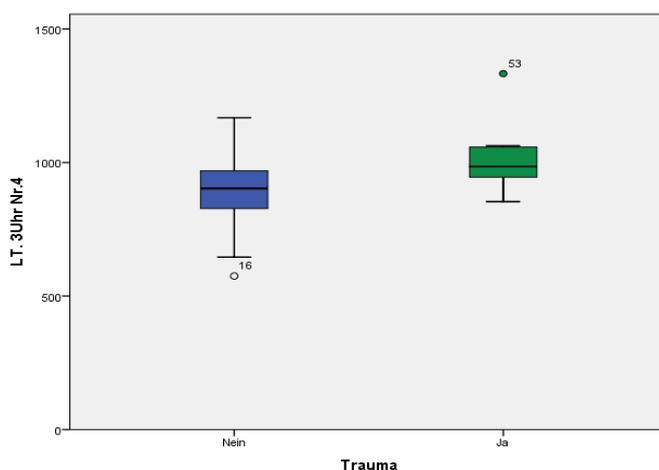


Abbildung 44: Einfluss vorangegangenes Trauma auf Distanz der Tangente höchste benachbarte Punkte auf der Iris zu tiefstem Punkt des enklavierten Gewebes

Bei transversaler Ansicht weist der Messpunkt 2 bei 9 Uhr eine Korrelation von  $r=0,284$  ( $p=0,018$ ) auf. Das Pigmentepithel am Messpunkt 5.3 bei 9 Uhr zeigt eine Korrelation von  $r=0,277$  ( $p=0,022$ ). Am Messpunkt 5.1 bei 3 Uhr zeigt sich dies ebenso mit  $r=0,249$  ( $p=0,43$ ) wie beim Messpunkt 4 bei steigender Tendenz mit  $r=0,318$  ( $p=0,008$ ).

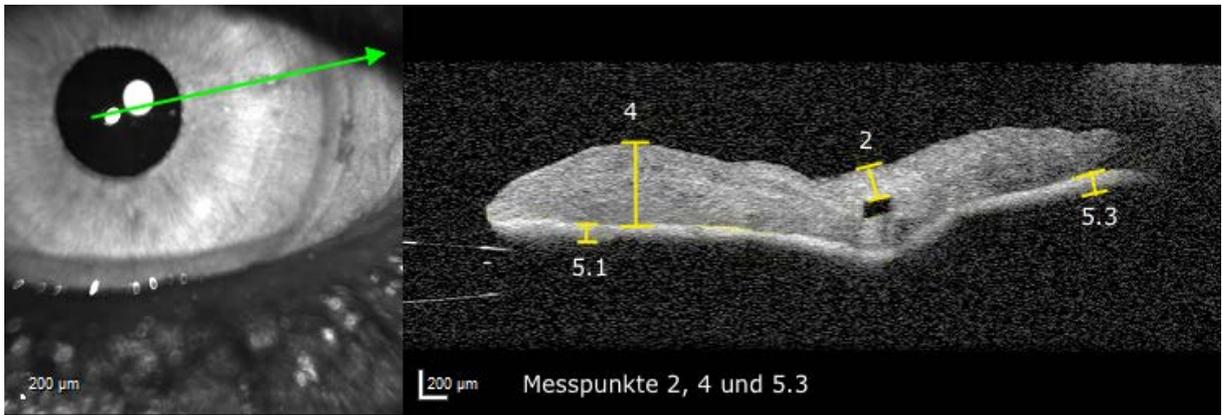


Abbildung 45: Messpunkte 2, 4, 5.1 und 5.3 im Transversalschnitt

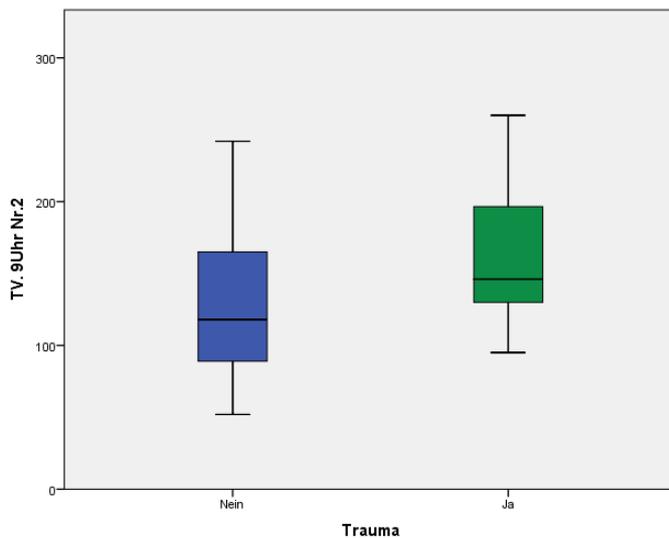


Abbildung 46: Einfluss Trauma auf die Gewebedicke vor der Haptik

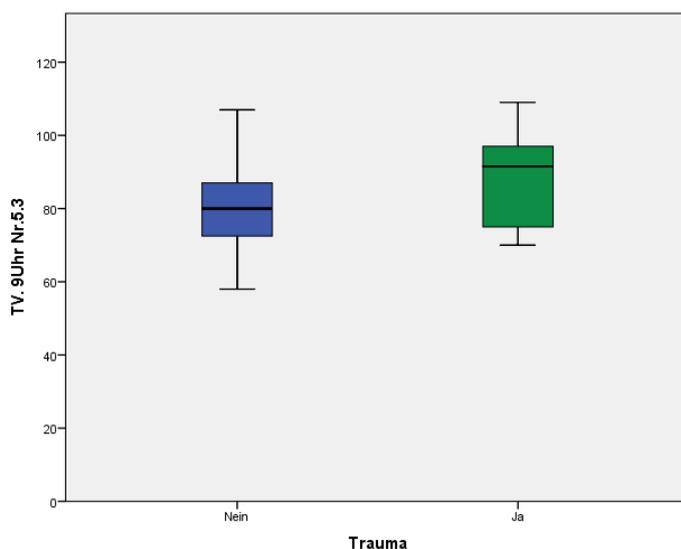


Abbildung 47: Einfluss Trauma auf die Dicke des Irispigmentepithel bei 9 Uhr

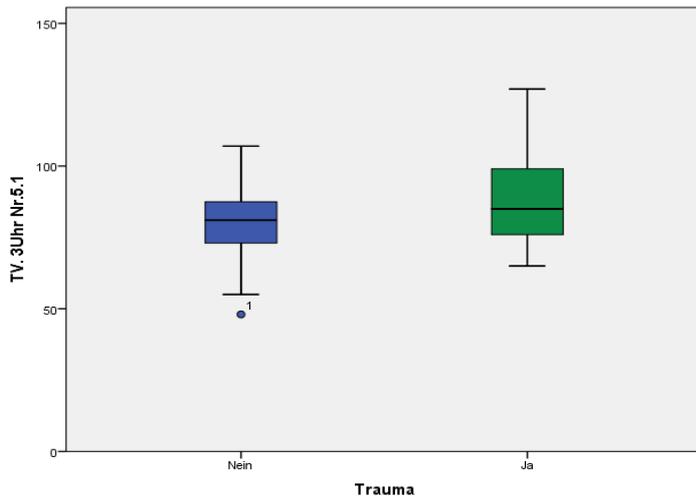


Abbildung 48: Einfluss Trauma auf die Dicke des Irispigmentepithel bei 3 Uhr

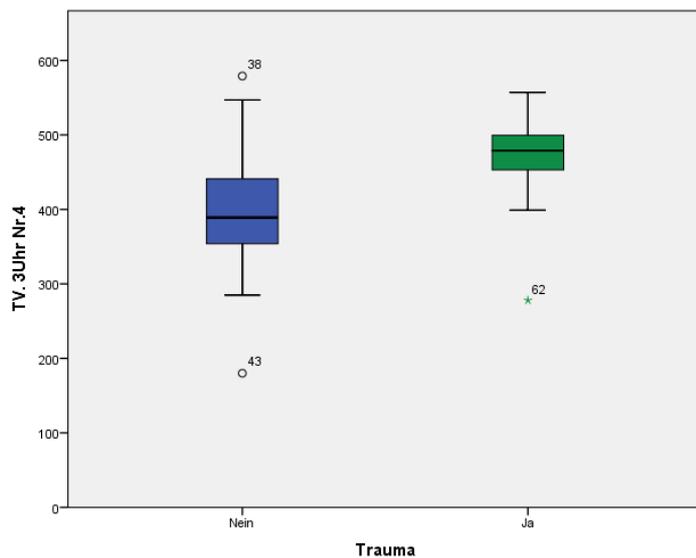


Abbildung 49: Zusammenhang zwischen Trauma und Gewebsmächtigkeit des Irisstromas innerhalb der Enklavation

In einem nächsten Schritt wird der Frage nachgegangen, ob sich statistisch bemerkenswerte Unterschiede hinsichtlich der 9 Uhr und 3 Uhr Position ergeben. Da es sich um gepaarte Stichproben mit eher nicht normalverteilten Daten handelt, wird hierfür der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest ausgewählt.

Als statistisch auffällig werden hierbei Werte von  $p < 0,05$  angesehen.

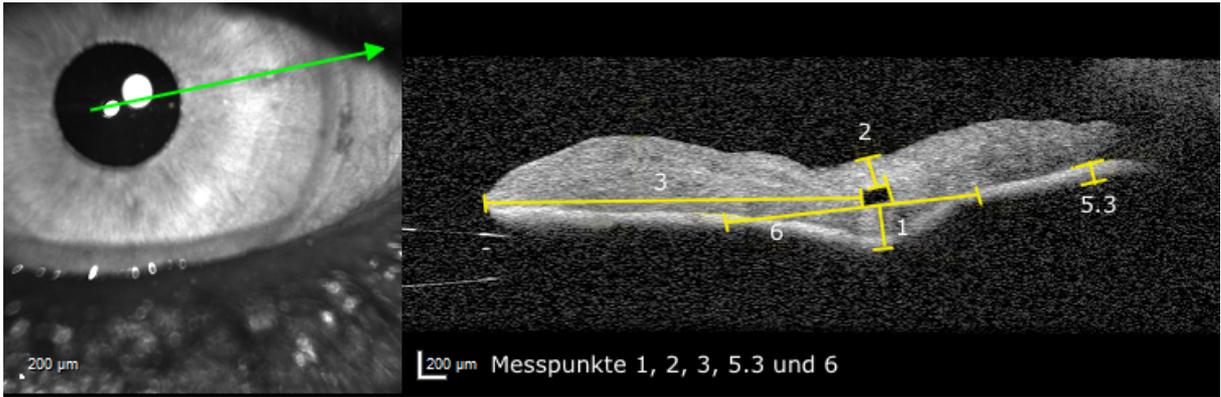


Abbildung 50: Messpunkte 1, 2, 3, 5.3 und 6 im Transversalschnitt

Im Falle einer Gesamtbetrachtung aller 72 Patienten ohne Untergliederung auf die betroffene Augenseite zeigt sich auf der 3 Uhr Position eine geringere Breite der posterioren Auslenkung des Irsgewebes hinter der Enklavation (Messpunkt 6). Diese beträgt im Median 1.707,50 µm, während der Messpunkt auf 9 Uhr einen Median von 1.860,50 µm aufweist. Der p-Wert des Tests ergibt  $p = 0,003$ .

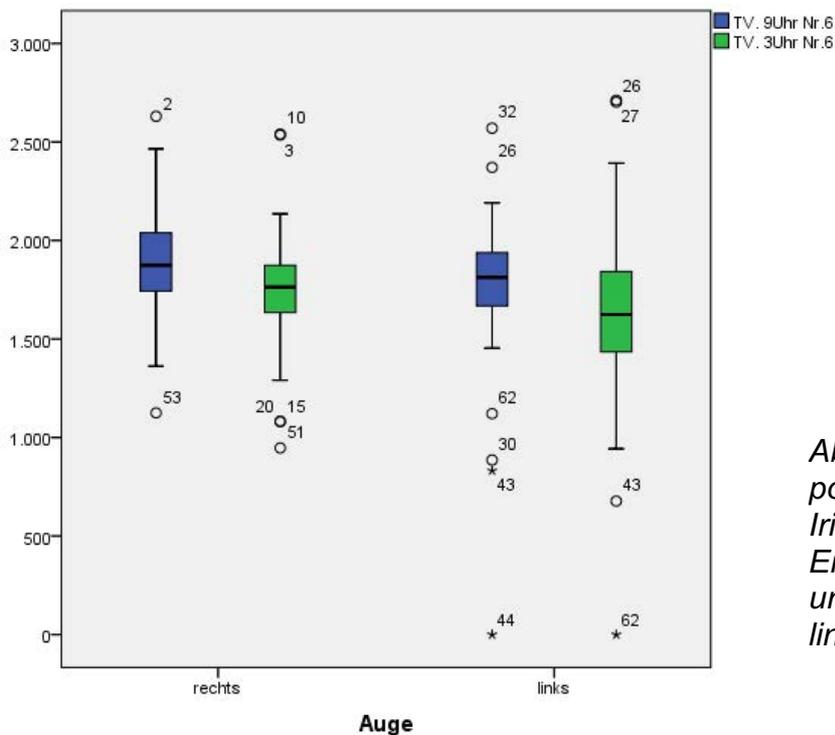


Abbildung 51: Breite der posterioren Auslenkung des Irsgewebes hinter der Enklavation im Vergleich 9 und 3 Uhr und rechtes zu linkem Auge

Bei den 37 vermessenen rechten Augen zeigen sich beim Messpunkt 3 in transversaler Ansicht auffällige Unterschiede bei der Distanz vom Pupillarsaum zur inneren Haptikbegrenzung, je nachdem ob in 3 oder 9 Uhr Position vermessen wird. Die 9 Uhr Position weist im Median 2.579,00  $\mu\text{m}$  auf - bei 3 Uhr sind es 2.424,00  $\mu\text{m}$ . Die Teststatistik liefert einen p-Wert von  $p=0,013$ .

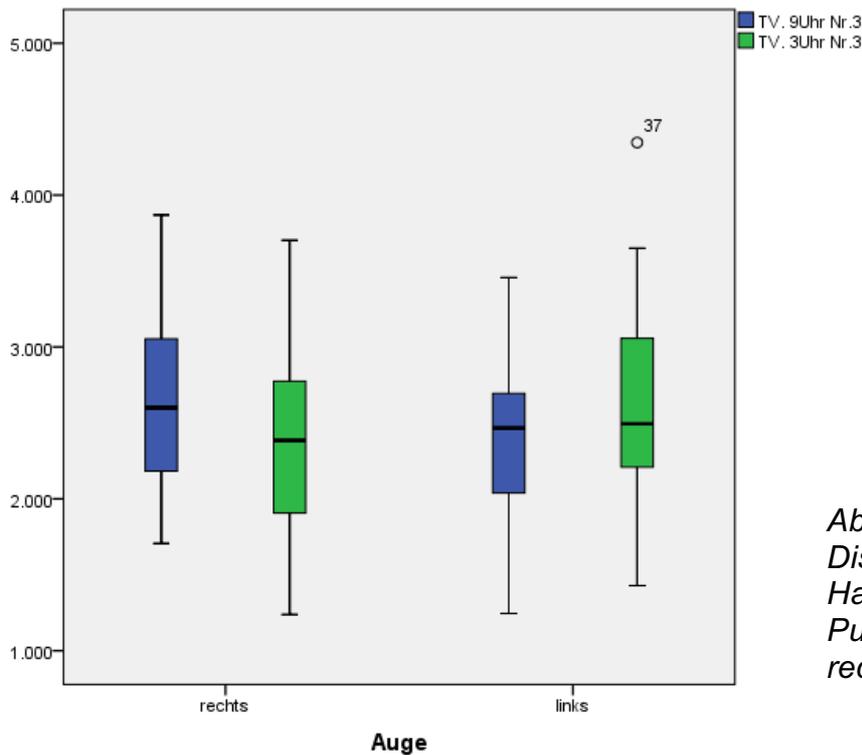


Abbildung 52: Vergleich der Distanzen innere Haptikbegrenzung zum Pupillarsaum 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge

Auch die Irispigmentepitheldicke zeigt auf 9 Uhr Position (80,5  $\mu\text{m}$ ) im Vergleich zur 3 Uhr Lage (76,0  $\mu\text{m}$ ) höhere Dicken auf. Der p-Wert beträgt  $p=0,025$ .

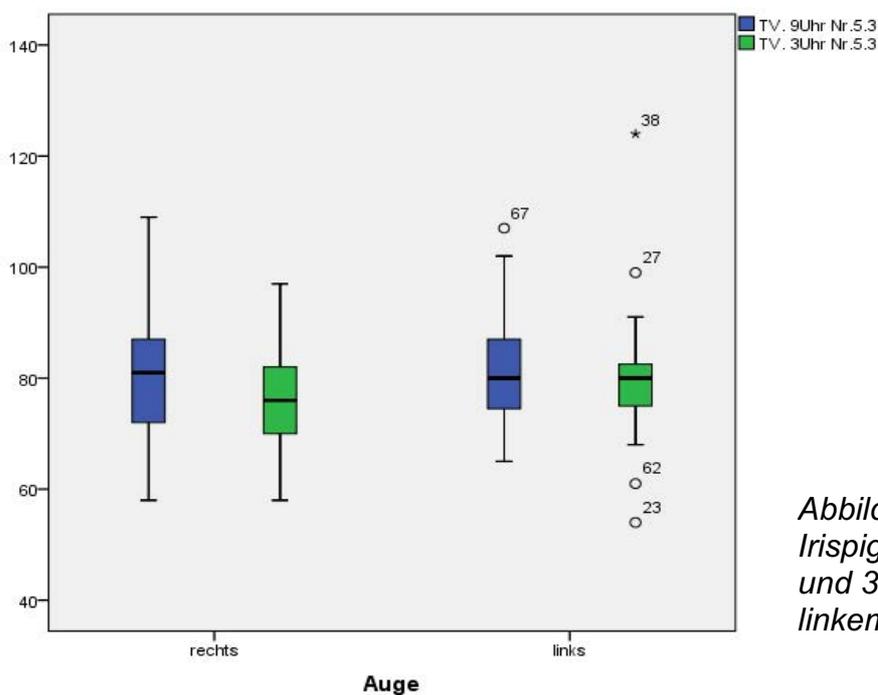


Abbildung 53: Vergleich der Irispigmentepitheldicken 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge

Wie bereits in der Gesamtauswertung zeigt sich hinsichtlich der Breite der posterioren Auslenkung ein statistisch auffälliger Unterschied mit einem Median von 1.889,00 µm (9Uhr) und 1.763 µm (3 Uhr) ( $z = -2.636$ ,  $p = 0,008$ ).

Bei der Vergleichsanalyse der 35 linken Augen ist bei der Messung des Irisstromas vor dem Haptikquerschnitt der Median bei 9 Uhr mit 127,5 µm größer als auf 3 Uhr mit 148,00 µm. P-Wert des Tests  $p = 0,20$ .

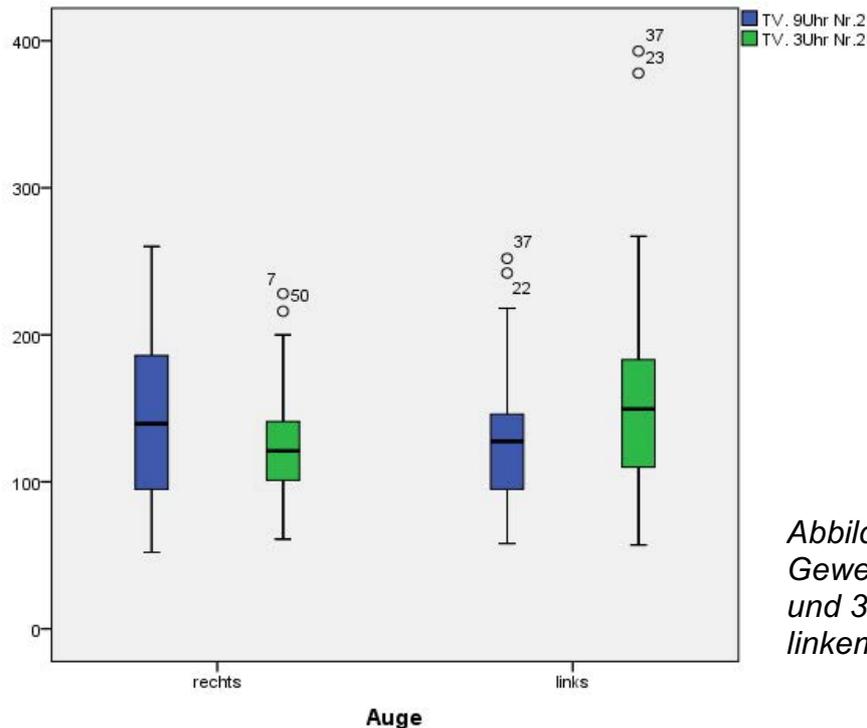


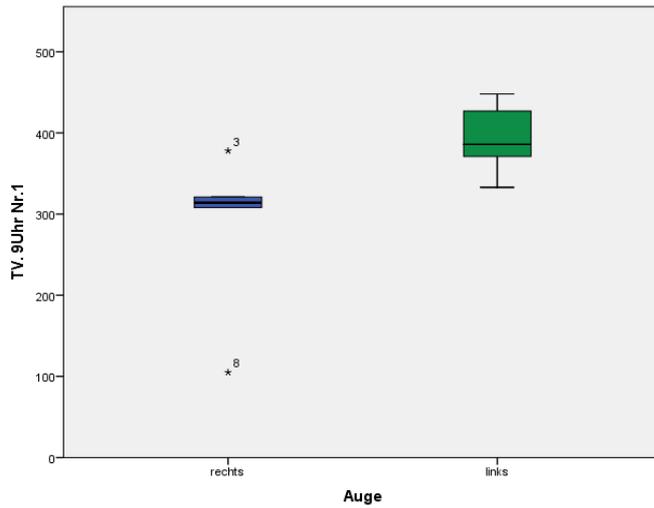
Abbildung 54: Vergleich der Gewebedicke vor der Haptik 9 und 3 Uhr sowie rechtes zu linkem Auge

Insgesamt umfasst das Patientenkollektiv 5 Fälle, bei denen eine beidseitige Implantation vorgenommen wurde. Bei diesen wird untersucht, ob sich hinsichtlich einer Fixation im rechten oder linken Auge signifikante Unterschiede ergeben.

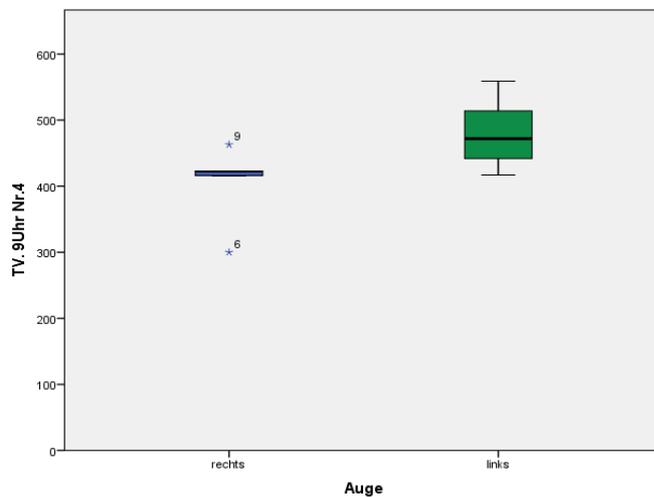
	rTV.9Uhr Nr.1	rTV.9Uhr Nr.4	ITV.9Uhr Nr.1	ITV.9Uhr Nr.4
N Gültig	5	5	5	5
Fehlend	0	0	0	0
Mittelwert	285,20	404,80	393,00	480,80
<b>Median</b>	<b>314,00</b>	<b>422,00</b>	<b>386,00</b>	<b>472,00</b>
Minimum	105	300	333	417
Maximum	378	463	448	559
Summe	1426	2024	1965	2404

Tabelle 5: Vergleich Enklavation rechtes und linkes Auge gleicher Patient

Die linksseitige Enklavation zeigt in der transversalen Ansicht bei 9 Uhr ein dickeres Irisstroma hinter dem Haptikquerschnitt (Median=386) als rechts (Median=314  $\mu\text{m}$ ,  $p=0,43$ ,  $n=5$ ). Auch die Gewebsmächtigkeit des Stromas innerhalb der Enklavation weist auf der linken Seite bei 9 Uhr einen nennenswert größeren Durchmesser (Median=472  $\mu\text{m}$ ) als rechts (Median=422  $\mu\text{m}$ ) auf. ( $p=0,43$ ,  $n=5$ ).



*Abbildung 55:  
Gewebemächtigkeit des  
Irisstromas hinter der  
Haptik im Vergleich rechtes  
und linkes Auge*



*Abbildung 56: Größte  
Gewebsmächtigkeit des  
Irisstromas innerhalb  
Enklavation im Vergleich  
rechtes und linkes Auge*

## 8 Diskussion

Die retroiridal fixierte Irisklauenlinse wird in der Ophthalmochirurgie in der Regel nicht primär, sondern als sekundäre Linse z.B. bei IOL-Sub-/Luxationen (häufig bedingt durch ein Pseudoexfoliationssyndrom PEX), bei einer Zonularfaserschwäche oder bei anderen okulären Traumata eingesetzt (Kuchenbecker 2017).

Ursprünglich wurde die irisfixierte Irisklauenlinse als Vorderkammerlinse entwickelt, wird aber in den letzten Jahren zunehmend retroiridal implantiert, um das Risiko eines Kontaktes zwischen Hornhaut und Linse mit den entsprechenden Folgekomplikationen zu vermeiden. Im Gegensatz zu den skleranahtfixierten Hinterkammerlinsen, die zeitaufwändig zu implantieren sind und zu Komplikationen wie Glaskörperblutungen, Makulaödemen, Nahterosionen oder Linsendezentrierungen führen können, lässt sich die in dieser Studie verwendete Verisyse®-Irisklauenlinse sicher und schnell implantieren.

Viele Chirurgen präferieren daher das Einsetzen einer Irisklauenlinse anstelle der nahtfixierten Methode (Mennel et al 2007, Billwitz et al 2007). Im Rahmen einer Vergleichsanalyse kamen Mennel et al. auf eine komplikationslose und 20-minütige Operationsdauer bei retropupillärer Irisfixation. Bei Skleranahtfixation lag die OP-Dauer dagegen bei 50 min. Auch eine weitere Arbeit, bei der die Technik nach Scharioth zur Implantation angewandt wurde, zeigte mit einer OP-Dauer von 32 min die Überlegenheit der Irisfixation gegenüber der Nahtfixation mit einer OP-Dauer von 50,5 min (Sekundo et al 2014).

In dieser Studie lag die durchschnittliche Operationsdauer bei 49,39 Minuten. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass es sich bei den Eingriffen meist um kombinierte Verfahren zur Behandlung weiterer Pathologien, oft im Rahmen komplexer posttraumatischer Prozeduren, handelt. Sofern lediglich eine Linsenimplantation erfolgte, konnte ein Minimum von 14 Minuten erreicht werden. Die standardisierte OP-Dauer bei einer reinen Linsenimplantation liegt zwischen 20-40 Minuten.

Das relativ schnell und sicher zu erlernende Prinzip der retroiridalen Fixation ist dank schonender, zumeist atraumatischer Positionierung eine sichere Methode. Kühle et al. betitelten sie als Goldstandard sowohl bei einer vorgesehenen Sekundärimplantation als auch als Reserveoption im Rahmen der Kataraktoperation (Wolter-Roessler and Kühle 2008). Auch Hara et al. kamen zu dem Entschluss, die

retropupillare Position zu präferieren, da diese die Vorzüge einer echten Hinterkammerlinse und geringere intra- und postoperative Komplikationen mit kurzer Operationslernkurve vereint (Hara et al 2011). An der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz gilt die Implantation einer irisfixierten Hinterkammerlinse bei korrekter Indikationsstellung als sichere Methode zur Korrektur von Aphakien und IOL-Dislokationen und hat als Goldstandard die Vorderkammer-IOLs sowie die skleranahtfixierten-IOLs abgelöst.

Mit dieser Arbeit wird die Verankerung der Irisklauenlinse näher untersucht. Hierzu wird die Enklavation der Haptiken der Irisklauenlinse Verisyse®/Artisan® im Irisgewebe an den relevanten Messpunkten mit Hilfe der SD-OCT im Detail vermessen und nach klinisch relevanten Zusammenhängen hin untersucht. Eine gute und stabile Enklavation der Linsen-haptiken im Irisgewebe ist Voraussetzung für eine langfristige und sichere Positionierung der Linsen. Hierzu liegen nach umfassender Sichtung der aktuellen Literatur keinerlei weitergehenden Erkenntnisse vor. Insbesondere gibt es keine Arbeit, in der mit Hilfe der OCT die Enklavation im Irisgewebe so detailliert durch Analyse verschiedener Messpunkte in unterschiedlicher Ansicht, sowohl longitudinal als auch transversal, untersucht wird.

In der Vergangenheit standen vor allem die Linsenpositionierung und die Stabilität der Linsen bei den Untersuchungen im Vordergrund. Ostovic und Kohnen evaluierten neben dem prä- und postoperativen Visus Komplikationen, Lage und Stabilität der retropupillar fixierten Verisyse®/Artisan®-Linsen mittels optischer Biometrie. Bei den Nachuntersuchungen zeigte sich eine durchweg gute Stabilität. Bei ihnen lag der eingesetzte Dioptriewert bei durchschnittlich  $19,2 \pm 5,2$  dpt mit Werten zwischen +2 und +29 dpt. Die Achsenlänge betrug im Mittel  $23,8 \pm 1,7$  mm mit einem Minimum von 21,5 mm und einem Maximum von 30,5 mm. Die Vorderkammertiefe belief sich auf durchschnittlich  $3,3 \pm 1,1$  mm mit Werten von 2,1 mm bis zu 6 mm (Ostovic and Kohnen 2011).

Bereits Grulowski et al. schätzten, dass sowohl statische und dynamische, als auch qualitative und quantitative Kenntnisse des Augengewebes mittels OCT gewonnen werden können (Grulkowski et al 2009). Auch Ortiz et al. erkannten den Nutzen einer quantitativen Verbildlichung der Augen und Linsen nach erfolgter Kataraktoperation. Sie nutzten die OCT, um die Linsenausrichtung vor und nach OP eines Patienten durch komplette Quantifizierung des vorderen Segmentes darzustellen. Sie kamen zur Überzeugung, dass die 3D Biometrie für die Linsenpositionierung, Stärkeberechnung und das Verständnis ihrer Stabilität obligat ist. Koss und Kohnen

untersuchten 2009 die Stabilität und Sicherheit ebenfalls mit Hilfe der optischen Kohärenztomographie. Bei ihren 18 untersuchten Augen erfolgte die Irisfixation jedoch in der Vorderkammer. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass sich kurze und lange Augen in Bezug auf die postoperative Vorderkammertiefe signifikant unterscheiden. Gerade auch bei geringerer Achsenlänge sollte somit gemäß den Autoren eher die retropupillare Fixation erwogen werden (Koss and Kohnen 2009).

Da das Design der IOLs stetigen Weiterentwicklungen unterliegt, ist die kontinuierliche und detaillierte Untersuchung der genauen Ausrichtung und Position von IOLs sinnvoll. Frühere Studien untersuchten die Ausrichtung asphärischer monofokaler Linsen mittels Scheimpflug- und Purkinjebildgebung bei jungen Augen (Ortiz et al 2013). Die Scheimpflug-Fotografie wird in Kombination mit einer speziellen 3D-Simulationssoftware auch präoperativ eingesetzt, um im Vorfeld zu evaluieren, ob die anatomischen Verhältnisse zur Implantation einer Vorderkammerlinse geeignet sind bzw. welche Linse hier am besten geeignet ist. Möglicherweise kann man im Rahmen von zukünftigen Studien prüfen, ob die Scheimpflug-Fotografie mit der Simulationssoftware auch bei der Hinterkammerlinse entsprechende Ergebnisse bringt und dies dann auch mit dem tatsächlich in vivo gemessenen Enklavationen der Haptiken in Bezug setzen (Oculus 2019).

Die verschiedenen Indikationen für die Implantation einer Verisyse® sind nicht Thema dieser Studie und werden nicht systematisch erfasst. Lediglich die möglichen Auswirkungen eines Pseudoexfoliationssyndroms, Traumas und einer Vitrektomie werden weiter untersucht.

Das Pseudoexfoliationssyndrom betrifft insgesamt 25,0% der Augen, ein vorangegangenes Trauma liegt bei 12 (16,7%) der untersuchten Augen vor. Die derzeitigen Literaturangaben zu den Häufigkeiten dieser Vorbefunde in anderen Patientenkollektiven schwanken hierzu erheblich und lassen keine eindeutige Aussage zu. Da Silva et al. berichtete beispielsweise von 0,86 % mit PEX und 12% mit Trauma bei Patienten, die eine Irisklauenlinse bei fehlendem Kapselsack zur Aphakiekorrektur erhielten (Chalkiadakis et al 2016). In der Studie von Gonnermann et. al waren 11,8 % von einem PEX und 50% von Traumata betroffen (Gonnermann et al 2013). In einer Studie, die Komplikationen und Visusergebnisse bei einem Zweiteingriff (IOL-Austausch) untersuchte, waren 50,5% von einem PEX betroffen, in lediglich 9,5% war die Indikation ein Trauma (Gonnermann et al 2012b). Eine weitere Studie, die sich mit dem Komplikationsprofil der Verisyse® auseinandersetzte, zeigte bei 63% ein PEX und bei 28% ein Trauma (Schiedel et al 2006).

Als dritte präoperative Pathologie werden in dieser Arbeit stattgehabte Vitrektomien dokumentiert. In der vorliegenden Studie betrifft dies 22 Augen und somit 30,6%. Da Silva berichtete von insgesamt 8 Fällen, 11 konnten bei Gonnermann erhoben werden (Chalkiadakis et al 2016, Gonnermann et al 2012a). Die Studie von Baum zeigte 25% vitrektomierte Patienten (Baum and Blum 2009). In einer Studie von 2002, die die Ergebnisse ein Jahr nach retropupillärer Fixation untersuchte, wurde ein möglicher Vorteil bei bereits durchgeführten Vitrektomien festgestellt. So könnte das Auftreten eines zystoiden Ödems verringert werden, da eine Inkarceration des Glaskörpers weder im Bereich der Iris noch des Ziliarsulkus möglich ist (Mohr et al 2002).

Die Analyse der hier vorliegenden Daten zeigt ein einheitliches Bild der postoperativen Enklavation, was sich zum einen sehr präzise mittels der OCT messen lässt und andererseits bei der Zusammenhangsanalyse zeigt, dass es sich bei der retropupillar fixierten Irisklauenlinse um ein sehr sicheres und standardisiertes Verfahren mit standardisierten Ergebnissen handelt. Bei den Untersuchungen zeigt sich insgesamt eine stabile und überraschend standardisierte Enklavation der Haptiken an praktisch allen Messpunkten. Selbst bei erheblichen Vorschädigungen des Auges wie PEX, Trauma oder auch nach Vitrektomien kann noch in allen Fällen eine ausreichende Enklavation und damit ein stabiler Sitz gewährleistet werden. Das deckt sich mit der Erkenntnis, dass die Irisklauenlinse erst bei massiver Gewalteinwirkung auf das Auge luxiert (Augenklinik Zirm 2005). Bei den Ergebnissen zeigt sich jedoch, dass die vom Hersteller durch die "Iris-Bridge" der Verisyse®/Artisan® versprochene "Nicht-Berührung des Irisepithels und ausschließliche Enklavation des Irisstromas" nicht in allen Fällen gewährleistet ist. Bei der Auswertung der OCT-Bilder zeigt sich in den meisten Fällen eine Mitenklavation des Irisepithels. Auch hier stellt sich aber die Frage nach der klinischen Relevanz.

Der in der vorliegenden Arbeit gemessene Versatz der Haptiken findet nicht durch ein Auseinanderspreizen innerhalb einer Ebene, sondern durch ein gegeneinander Verschränken der Haptiken statt. Die Haptiken bilden so einen Spalt, in den das Irisgewebe stabil eingeklemmt werden kann. Der dann gemessene Versatz der Haptiken hängt von der Menge der Gewebeenklavation ab. Hier zeigt sich bei 9 Uhr über alle Augen ein Durchschnittswert von 96,44 µm mit einem Minimum von 14 µm und einem Maximum von 176 µm. Auf der 3 Uhr Position zeigen sich vergleichbare Werte mit einem Mittelwert bei 95,34 µm zwischen 0 µm und 170 µm. Die Dicke der

Haptiken selbst liegt bei  $140\ \mu\text{m}$ , was auch erklärt, dass viele Versatzwerte in diesem Bereich liegen.

Auf den in der vorliegenden Arbeit gemessenen Versatz der Haptiken scheint das Alter der Patienten einen Einfluss zu haben. In der Arbeit kann ein Zusammenhang zwischen Alter und Haptikversatz auf der 3 Uhr Position in longitudinaler Ansicht beobachtet werden. Dieser ist umso größer, je älter der Patient. Möglicherweise hängt dieser Effekt mit der natürlichen Alterung des Irisgewebes zusammen, dass durch die nachlassende Spannkraft und Elastizität etwas schlaffer wird und insgesamt leichter in die Haptiken zu enklavieren ist (Huppelsberg und Walter 2013). Ein weiterer möglicher Grund könnte sein, dass durch die fehlende Spannkraft des Gewebes der Zugang mit dem Enklavationsspatel steiler mit mehr Platz erfolgen kann und so mehr Gewebe enklaviert werden kann. Wegen der relativ geringen Patientenzahl ist das ein Ergebnis, was zum Gegenstand weiterer Studien mit einem größeren Patientenkollektiv werden sollte.

Auch der Dioptriewert der Linse scheint einen Einfluss auf den Haptikversatz zu haben. Bei Betrachtung der longitudinalen Ansicht sind die Abstände zwischen den Haptikenden umso größer, je höher der Dioptriewert der eingesetzten Linse war. Dies könnte auf die Bauweise der Verisyse<sup>®</sup> zurückzuführen sein. Laut Hersteller hängt die Distanz zwischen Optikrückfläche und Haptikende von der jeweiligen gewählten Dioptrie ab (Ophtec 2010). Hierdurch hat die Linse einen bogenförmigeren Verlauf, was wiederum Einfluss auf die Enklavation haben könnte. Die hohe Verwindungssteifigkeit der Haptiken, die wie die gesamte Linse aus rigidem und entsprechend stabilem Polymethylmethacrylat (PMMA) bestehen, könnte die Ursache des mit zunehmender Dioptriezahl gemessenen zunehmenden Versatz der Haptiken sein.

Die Linsengeometrie könnte auch erklären, warum mit steigender Linsenstärke die Distanz zum inneren Pupillarsaum abnimmt, bedingt durch den großen Versatz und den dadurch enklavierten Gewebeanteil. Da die Werte des Versatzes bei der 9 Uhr Position im Mittel bei  $96,44\ \mu\text{m} \pm 48,09\ \mu\text{m}$  liegen und sich die Pupillen der Patienten, die ebenfalls in den OCT-Bildern der Patienten sichtbar sind, weitestgehend rund präsentieren, stellt sich die Frage der klinischen Relevanz.

Die Berechnung der notwendigen Brechkraft und damit der Linsengeometrie ist aber auf jeden Fall entscheidend für eine korrekte Position und Stabilität der implantierten Linse. Besonders bei schwierigen Ausgangsvoraussetzungen oder nach vorausgegangenen Operationen zeigte sich, dass mangelhaft errechnete

Brechungswerte die Hauptursache für eine sekundären Korrekturingriff und eine Explantation darstellten (Haigis 2007). Hier wäre es Aufgabe weiterer Studien zu untersuchen, ob die fehlerhafte Berechnung der Linsenstärke zu signifikanten Abweichungen oder Problemen bei der Enklavation der Haptiken führt.

Die Untersuchung ergibt außerdem mit Zunahme der Vorderkammertiefe eine zunehmende Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes, d.h. es wird je mehr Irisgewebe enklaviert, desto größer die Vorderkammertiefe ist. Das könnte damit zusammenhängen, dass bei einer großen Vorderkammer auch grundsätzlich die Strukturen des Auges etwas größer sind, und somit mehr Gewebe zum Enklavieren zur Verfügung steht. Hierbei handelt es sich aber um eine Hypothese, die mit einer gezielten weiteren Studie nochmals untermauert werden müsste. Ob die Ergebnisse an dieser Stelle irgendeine klinische Relevanz haben oder sogar möglicherweise die zukünftige Entwicklung der Linsengeometrie beeinflussen, muss man von diesen weiteren Untersuchungen abhängig machen.

In Bezug auf die Vorerkrankungen zeigen sich einige statistische Auffälligkeiten. Während die Ergebnisse der vitrektomierten Patienten keine statistischen Auffälligkeiten zeigen, war beispielsweise die Breite des enklavierten Gewebes hinter den Haptiken bei einem PEX größer als bei den Patienten ohne PEX. Das könnte mit der bei PEX-Patienten auch intraoperativ vermehrt beobachteten Miosis zusammenhängen, die auch in der Literatur beschrieben wird. Vermutlich kommt es durch die Rigidität des Gewebes bei einem PEX zu einer Zonulaschwäche und einer insuffizienten Mydriasis. Durch das bei einer Miosis flächiger vorhandene Irisgewebe könnte es in der Folge zu einer größeren Breite des enklavierten Gewebes hinter der Haptik kommen. Da dieser Zusammenhang aber nicht systematisch untersucht wird, sollte er zum Gegenstand weiterer Studien gemacht werden (Schlötzer-Schrehardt und Naumann 2012).

In der Literatur wird die Empfehlung ausgesprochen, zunächst mit der nicht dominanten Hand die Fixation der distalen und anschließend der proximalen Haptik vorzunehmen (Besgen und Sekundo 2017). Daher ging die Studie auch der Frage nach, ob sich hinsichtlich der 3 beziehungsweise 9 Uhr Position Unterschiede in der Haptikenklavation ergeben.

Statistisch auffällige Unterschiede finden sich bei der Breite der posterioren Auslenkung des Irisgewebes hinter der Haptik. Diese ist auf der 3 Uhr Position geringer. Der Unterschied beim Median lag bei den 37 vermessenen rechten Augen bei 155  $\mu\text{m}$  (2.579,00  $\mu\text{m}$  in der 9 Uhr Position und 2.424,00  $\mu\text{m}$  in der 3 Uhr

Position) und bei Einbezug aller 72 vermessenen Patienten bei 153  $\mu\text{m}$  (1.860,50  $\mu\text{m}$  in der 9 Uhr Position und 1.707,50  $\mu\text{m}$  im der 3 Uhr Position). Auch die Distanz der inneren Haptikbegrenzung zum inneren Pupillarsaum erweist sich im Median um 155  $\mu\text{m}$  geringer (2.579,00  $\mu\text{m}$  in der 9 Uhr Position und 2.424,00  $\mu\text{m}$  im der 3 Uhr Position). Auch die Irispigmentepitheldicke zeigt auf 9 Uhr Position (80,5  $\mu\text{m}$ ) im Vergleich zur 3 Uhr Lage (76,0  $\mu\text{m}$ ) höhere Dicken auf. Auch wenn an einigen Messpunkten die Abweichungen statistisch auffällig sind, lässt das auch in Anbetracht der insgesamt doch geringen Unterschiede und der begrenzten Patientenzahl keinen eindeutigen Schluss auf einen möglichen Einfluss der Händigkeit der Operateure oder der OP-Technik zu. Ob die Händigkeit des Operateurs oder die Seite des Auges (linkes Auge/rechtes Auge) bezüglich der Enklavation und dem Haptikversatz tatsächlich eine Rolle spielt, könnte aber zum Gegenstand weiterer Forschung gemacht werden. Die 3 Uhr Position wird normalerweise mit der linken und die 9 Uhr Position mit der rechten Hand enklaviert. Dieser Wechsel der Händigkeit innerhalb des OP-Vorganges könnte zu unterschiedlichen Werten an den Messpunkten führen.

Hier muss dann speziell die Enklavation an der 3- und 9 Uhr Position bei einem größeren Datenkorpus nochmals untersucht werden.

Die Ergebnisse sprechen jedenfalls für ein sicheres Verfahren, dass nach einer entsprechenden Lernkurve von einem erfahrenen Operateur sicher angewandt werden kann. Allerdings widerspricht die Tatsache, dass ein Haptikversatz von im Mittel 96,44  $\mu\text{m}$  und 95,3  $\mu\text{m}$  (9 und 3 Uhr Position) gemessen wird, den Herstellerangaben, der davon ausgeht, dass die Haptiken ohne Versatz implantiert werden können (Ophtec 2010). Der Haptikversatz kommt wahrscheinlich durch die Verwindungssteifigkeit und das Drehmoment der Haptik zustande.

Während diese Untersuchung erstmals detailliert die Enklavation der Haptiken in das Irisepithel an verschiedenen Messpunkten mittels der OCT vermisst, war in der Vergangenheit die retropupillar fixierte Irisklauenlinse Gegenstand vieler Studien und Untersuchungen, die sich vor allem mit dem Sitz, dem postoperativen Verlauf und mit den möglichen Komplikationen befasst haben.

In der Ende Mai 2019 veröffentlichten Studie von Morshed et al., die eine Vergleichsanalyse zwischen Y-förmigen intraskleral fixierten Hinterkammerlinsen und retroiridal fixierten Irisklauenlinsen anstellte und ihre Untersuchungen sowohl mittels Spaltlampenuntersuchung und Spectral domain system RTVue-XR Avanti durchführten, zeigten sich in 20% der Fälle eine Ovulation der Pupille. Eine solche

Verzerrung hielten die Autoren für vermeidbar, wenn man die Haptik in der midperipheren Zone der Iris positioniert und dabei auf eine symmetrische Fixation und äquivalente Gewebedicke achtet (Morshed et al 2019). Eine 2018 veröffentlichte Studie untersuchte die Linsenzentralisation mittels Spaltlampe bei jeder Visite, so wie nach einem 6-monatigem Intervall die Linsenausrichtung mittels Ultraschall. Ebenso wie bereits Baykara et al. 2007 mittels Pentacam und Ultraschall zeigen konnte, waren alle Linsen zentriert und ohne Neigung parallel zur Irisebene verankert. Bezüglich einer prä- und postoperativen Vorderkammertiefendifferenz war diese nicht signifikant. Ebenso untersuchten mehrere weitere Studien eine Pupillenovulation. Die Quote lag bei 21,42% in der angeführten Studie, Baykara et al. berichtete von 12,5%, bei Hsing et al. lag die Rate bei 18,75% und Gonnermann et al. beobachteten in 28,8% der Fälle eine solche Komplikation. Dennoch kam es zu keinerlei Beschwerden seitens der betroffenen Patienten, womit sich auch hier die Frage der klinischen Relevanz stellt.

Die Pupillen waren in dieser Studie gut beurteilbar, da bei allen OCT-Bildern eine Aufnahme der Pupille mit anfertigt wurde. Insgesamt zeigt die Studienlage eine gute Linsenposition und eine relativ geringe Quote an Pupillenovulationen, die aber zu keinerlei Problemen führten. In den ersten Tagen nach dem Eingriff beobachtete kleinere Verziehungen der Pupille bildeten sich in der Regel innerhalb weniger Tage ohne zusätzliche Maßnahmen zurück (Wolter-Roessler and Kühle 2008).

In einer 2008 erschienen Studie zur Untersuchung der Position einer myopen Irisklauenlinse mittels Scheimpflug und Ultraschall Biomicroscopy konnte gezeigt werden, dass die sich gegenüberliegenden Haptiken die Iris zu inzidieren schienen. Die befürchtete Pigmentdispersion, eine Entzündung oder ein damit einhergehendes Glaukom konnte allerdings bei keinem der neun Probanden nachgewiesen werden. In der Studie konnte gezeigt werden, dass trotz Körperlageänderungen ein ausreichender Freiraum zwischen Korneaendothel, dem Kammerwinkel und der natürlichen Linse eingehalten wird und damit das Verfahren eine sichere alternative Vorgehensweise darstellt (Yu et al 2008).

Auch zur Deenklavation der Haptiken gibt es einige Untersuchungen. Mit Ausnahme eines Falles einer nasalen Deenklavation erwiesen sich in einer Untersuchung von Rastogi et al. in allen Nachuntersuchungen die Haptiken als gut enklaviert (Rastogi et al 2018). In der aktuellen Literatur liegt die Deenklavationsrate als wesentliche postoperative Komplikation bei 0-10%. Hauptursachen sind neben einer Spontandeenklavation auch eine unzureichende Enklavation in das Irisstroma oder

auch ein Trauma (Brockmann et al 2014). Gerade die unzureichende Enklavation in das Irisstroma als Ursache der Deenklavation könnte in weiteren Studien untersucht werden. Denkbar wäre hier eine Langzeitbeobachtung in Kombination mit der OCT-Detailmessung der Haptikenklavation zu mehreren definierten Zeitpunkten. So könnte möglicherweise schon früh auf Basis der Ergebnisse eine Prognose zur langfristigen Stabilität gegeben werden.

2013 erschien eine Studie zum Vergleich einer nahtlosen intraskleralen IOL-Implantation und einer Irisklauenlinse nach vorangegangenem Trauma. Insgesamt kam sie zu dem Ergebnis, dass, wenn möglich, die Irisklauenlinse zum Einsatz kommen sollte, da sie in Hinsicht auf die benötigte Linsenstärkeberechnung und kürzere Operationsdauer überlegen sei. Die Forscher sahen die Technik trotz benötigtem kornealen Schnitt von 5,4 mm mit dem potentiellen Risiko eines Hornhautastigmatismus als sicheres Verfahren an (Saleh et al 2013).

Auch der postoperative Visus war in einigen Studien Untersuchungsgegenstand. In einer Studie von 2017, welche sich mit möglichen Einflussfaktoren für die postoperative Visusprognose bei retroiridaler Irisklauenlinse befasste, konnte gezeigt werden, dass der Eingriff trotz teilweise erheblicher Begleitpathologien zu guten Visusergebnissen führte. Diese Studie inkludierte auch Patienten mit Trauma- und PEX (Schmidt et al 2018).

Insgesamt bestätigen die hier vorliegenden Ergebnisse die standardisierte Enklavation der retroiridal fixierten Irisklauenlinse unabhängig von möglichen Vorerkrankungen und Voraussetzungen und auch unabhängig von der Händigkeit des Operateurs. Somit ist die retroiridal fixierte Irisklauenlinse ein bewährtes und sicheres Verfahren bei verschiedenen Pathologien, das durch die kurze OP-Dauer, die relativ schnelle Lernkurve des Operateurs und die geringen postoperativen Komplikationen mittlerweile zu den Standardverfahren der Ophthalmochirurgie gehört. Damit hat sich im Laufe der Jahre der Standard von der Implantation in die Vorderkammer zur anatomisch sinnvolleren Implantation in die Hinterkammer gewandelt (Wolter-Roessler and Kühle 2008, Billwitz et al 2007, Mohr et al 2002).

Die empirischen Ergebnisse dieser Arbeit über die Stabilität der Linsenklavation in einer Langzeitstudie mit größeren Patientenzahlen über einen längeren Zeitraum weiter zu untersuchen ist ein Desiderat der Forschung.

## 9 Limitationen

Die Ergebnisse zeigen die durchgehend gute und stabile Enklavation der Irisklauenlinse in das Irisgewebe. Trotzdem müssen verschiedene Ergebnisse und Zusammenhänge noch Gegenstand weiterer Untersuchungen und Studien werden. Zum einen ist die untersuchte Patientenzahl mit 72 im Literaturvergleich zwar weit überdurchschnittlich, aber aus Sicht des Statistikers noch relativ gering. Zum anderen bedarf die fehlende Standardisierung einiger Punkte weiterführender Untersuchungen. Mögliche Fehlerquellen sind die manuelle Messung und die teilweise unzureichende Bildqualität und Auflösung, die eine präzise Vermessung oftmals schwierig machen. Das führt dazu, dass einige Messpunkte nicht auswertbar sind und entfallen. Viele Patienten werden aus der Studie ausgeschlossen, da Daten und Bilder nicht vollständig sind. Dazu kommt, dass der Nachbeobachtungszeitraum nicht standardisiert ist. Die Patienten werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten postoperativ vermessen, teilweise am 1., teilweise am 2. postoperativen Tag. Dadurch kann eine durchgehende Standardisierung nicht gewährleistet werden, auch wenn das wahrscheinlich nicht zu größeren Abweichungen führen wird. Sicher wären aber standardisierte Nachuntersuchungen auch nach längeren Zeitintervallen sinnvoll, um mögliche Änderungen der Enklavation zu erfassen und zu interpretieren. Ein weiterer Punkt, der untersucht werden sollte, ist ein möglicher Einfluss der Erfahrung der Operateure auf das Ergebnis. In dem untersuchten Patientenkollektiv werden 49 von 72 und damit 68,1% der Patienten von einem Operateur operiert. Da Operateure auch bei dieser Art OP eine Lernkurve brauchen, können die Ergebnisse hier etwas verfälscht im Vergleich zu weniger erfahrenen Operateuren sein. Da sich aber in der Studie keine signifikanten Abweichungen bei den Ergebnissen der verschiedenen Operateure bezüglich der Enklavation zeigten, scheint der Eingriff nach einer kurzen Lernkurve der Operateure sicher und mit gleich guten Ergebnissen zu verlaufen.

Weitere mögliche Einflüsse auf die Messergebnisse könnte das Verfahren der OCT sein. Die OCT überzeugte in einer Untersuchung von Luiz et al aus 2009 bei der Vermessung der Vorderkammer mit verlässlichen Werten. Die Reproduzierbarkeit liegt bei 0,001 mm bei der Tiefenberechnung und 0,023 mm bezogen auf die

Linsenwölbung. Ein deutlicher Minuspunkt der OCT war jedoch, dass sie Strukturen hinter der Iris nicht gut wiedergibt (Ramos et al 2009).

Sowohl Dicken-, als auch Abstandsmessungen mit Hilfe der OCT sind nicht fehlerfrei, können jedoch mit Erfahrung minimiert werden. Gerade bei der Iris, einer stark brechenden Struktur, können, bedingt durch Mehrfachstreuungen, Details fälschlicherweise dicker erscheinen und echte Gewebe unsichtbar werden (Horstmann et al 2016b).

Insgesamt kann diese Studie mit Hilfe der OCT die stabile Enklavation der Haptiken anhand der gemessenen Parameter nachweisen. Während Verfahren wie die Untersuchung mit der Spaltlampe lediglich die korrekte Position und Stabilität des Sitzes der IOL untersuchen können, kann im Rahmen dieser Arbeit mit der OCT die exakte Enklavation der Haptiken detailliert dokumentiert und so mögliche Unterschiede in der Enklavation festgestellt werden. Dabei zeigen sich zwar bei der Zusammenhangsanalyse einige statistisch auffällige Unterschiede in der Enklavation, allerdings müsste hier die klinische Relevanz mit Hilfe weiterführender Studien geklärt werden, z.B. auch mit größeren Beobachtungszeiträumen. Zusammenfassend scheint die Messung der Enklavation der Haptiken aber ein geeignetes Verfahren zu sein, um das OP-Ergebnis zu analysieren.

## 10 Schlusswort

Die vor allem als sekundär eingesetzte retroiridal fixierte Irisklauenlinse gilt durch das standardisierte und schnell zu erlernende OP-Verfahren und dank schonender und atraumatischer Positionierung der Linse als sichere Methode. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse der vorliegenden Studie die standardisierte Enklavation der retroiridal fixierten Irisklauenlinse, unabhängig von möglichen Vorerkrankungen und Voraussetzungen und auch unabhängig von der Händigkeit des Operateurs. Damit hat sich im Laufe der Jahre die Standardimplantation von der Implantation in die Vorderkammer zur anatomisch sinnvolleren Implantation in die Hinterkammer gewandelt (Wolter-Roessler and Kühle 2008, Billwitz et al 2007, Mohr et al 2002).

Die vorliegende Arbeit untersucht erstmals detailliert die Fixation der Irisklauenlinse (Verisyse®/Artisan®) im Irisgewebe anhand der Enklavation der Haptiken und betrachtet Zusammenhänge mit weiteren klinischen Befunden. Die Vermessung der Enklavation erfolgt mithilfe der SD-OCT von Heidelberg-Engineering in Longitudinal- und Transversalebene an jeweils mehreren Messpunkten.

Die Analyse der Daten und die Zusammenhangsanalyse zeigt, dass die Implantation einer retropupillar fixierten Irisklauenlinse unabhängig von unterschiedlichen Voraussetzungen zu standardisierten Ergebnissen mit stabiler und gleichmäßiger Enklavation der Haptiken an allen Messpunkten führt. Selbst bei erheblichen Vorschädigungen des Auges wie PEX-Syndrom, Trauma oder nach Vitrektomien zeigte die Enklavation keine auffälligen Abweichungen.

In der Zusammenhangsanalyse finden sich einige Korrelationen, deren klinische Relevanz gegebenenfalls zum Inhalt weiterer klinischer Studien gemacht werden kann.

So steigt der Haptikversatz mit dem Dioptriewert der eingesetzten Linse, möglicherweise bedingt durch die Bauweise der Verisyse®. Herstellerangaben, dass die Haptiken der Linse ohne Versatz implantiert werden können (Ophtec 2010), konnten nicht bestätigt werden. Der in der vorliegenden Arbeit gemessene Haptikversatz ist wahrscheinlich durch die Verwindungssteifigkeit und das Drehmoment der Haptiken beim Enklavieren bedingt. Auch das Ergebnis kann in einer weiterführenden Arbeit weiter untersucht werden.

Mit Zunahme der Vorderkammertiefe zeigt sich eine zunehmende Enklavation von Irisgewebe. Ursache kann hier sein, dass bei grundsätzlich größeren Strukturen des Auges mehr Gewebe zum Enklavieren zur Verfügung steht.

Die Breite des enklavierten Gewebes hinter den Haptiken ist bei einem PEX größer, was mit der intraoperativ vermehrt beobachteten Miosis zusammenhängen kann.

Bei der Händigkeit der Operateure waren an einigen Messpunkten die Abweichungen zwar statistisch auffällig, in Anbetracht der geringen Unterschiede und der begrenzten Patientenzahl lassen die Ergebnisse aber keinen eindeutigen Schluss auf einen Einfluss der Händigkeit der Operateure oder der OP-Technik zu. Dieser Punkt kann aber zum Gegenstand weiterer Forschung bei einem größeren Datenkorpus gemacht werden.

Alle Ergebnisse sprechen jedenfalls für ein standardisiertes Verfahren, dass von einem erfahrenen Operateur sicher angewandt werden kann.

## 11 Literaturverzeichnis

Ang, M., Baskaran, M., Werkmeister, R.M., Chua, J., Schmidl, D., Santos, V.A., Garhöfer, G., Metha, J.S. and Schmetterer, L. (2018) Anterior segment optical coherence tomography, *Progress in Retinal and Eye Research*, Elsevier, 66 (2018), pp. 132–156. doi: 10.1016/j.preteyeres.2018.04.002.

Augenlinik Zirm (2005) FAQ zum Thema Behandlung von Kurzsichtigkeit - Artisan® [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <https://www.zirm.net/augenlinik/leistungsangebot-alt/behandlung-von/fehlsichtigkeit/kurzsichtigkeit/faq/artisan/>

Auffarth, G. (2018) Kataraktchirurgie – patientengerechte Implantate, *Forum Sanitas – das informative Medizinmagazin*, 1. Ausgabe, 2018, pp. 37–39 [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <http://www.oculentis.com/Downloads/ForumSanitas-FEMTIS-Auffarth-012018.pdf>

Auffarth, G. (2007) Phake Intraokularlinsen [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2007/Auffart1.pdf>

Auffarth, G. U. and Apple, D. J. (2001) Zur Entwicklungsgeschichte der Intraokularlinsen, *Der Ophthalmologe*, 98(11), pp. 1017–1028. doi: 10.1007/s003470170020.

Baikoff, G., Lutun, E., Ferraz, C. and Wie, J. (2004) Static and dynamic analysis of the anterior segment with optical coherence tomography, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 30(9), pp. 1843–1850. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.05.024.

Baudisch, F. (2018) Die Optische Kohärenztomographie ( OCT ) - Analyse der retinalen Nervenfaserschichtdicke und Retinafundusdicke nach Alter, Papillengröße und Refraktionsfehler sowie bei Patienten mit Optikopathien und arterieller Hypertonie [Dissertation]. München: Fachbereich Medizin der Ludwig-Maximilians-Universität.

Baum, U. and Blum, M. (2009) Retropupillare Irisklauenlinse bei Kapselsackverlust, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 226(S 01), pp. 67–72. doi: 10.1055/s-0029-1213634.

Besgen, V. and Sekundo, W. (2017) Aphake Artisan®/Verisyse®-Intraokularlinsen als retropupillare Implantate, *Der Ophthalmologe*, 114(11), pp. 1038–1041. doi: 10.1007/s00347-017-0570-3.

Billwitz, S., Häberle, H., Wirbelauer, C. and Pham, D.T. (2007) Erfahrungen der retroiridalen Irisklauenlinsenimplantation (Verisyse®) bei unterschiedlichen Indikationen, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 224(S 2), pp. 343–348. doi: 10.1055/s-2007-976292.

Brockmann, T., Gonnerman, J., Brockmann, C., Torun, N., Jousen, A.M., Bertelmann, E. (2014) Morphologische Veränderungen retropupillar fixierter Irisklauenlinsen nach traumatischer Deenkavation Einleitung Methoden, pp. 251–255 [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2014/DGII\\_46\\_brockmann\\_et\\_al.pdf](http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2014/DGII_46_brockmann_et_al.pdf)

BVA Berufsverband der Augenärzte, Pressereferat (2020) Häufigkeit des grauen Stars in Deutschland [zitiert am 20. September 2020]. URL: <http://cms.augeninfo.de/nc/hauptmenu/presse/statistiken/statsitik-katerakt.html>

Chalkiadakis, S. E., Parikakis, E. A. and Taylor, S. R. J. (2016) Sutureless 25-Gauge Pars Plana Vitrectomy Combined with Retropupillary Fixation of an Iris-Claw Intraocular Lens, *Case Reports in Ophthalmology, ASCRS and ESCRS*, 7(3), pp. 433–439. doi: 10.1159/000448943.

Choragiewicz, T., Rejdak, R., Grzybowski, A., Nowomiejska, K., Moneta-Wielgos, J., Ozimek, M. and Jünemann, A..G.M (2016) Outcomes of Sutureless Iris-Claw Lens Implantation, *Journal of Ophthalmology*, 2016, pp. 1–7. doi: 10.1155/2016/7013709.

Cichocki, M. and Kohnen, T. (2009) Re-Enklavation einer dislozierten irisgestützten phaken Intraokularlinse (Artisan®) mit Reiziritis, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 226(09), S. 774–776. doi: 10.1055/s-0028-1109586.

Dick, H. B. and Augustin, A. J. (2001) Lens implant selection with absence of capsular support, *Current Opinion in Ophthalmology*, 12(1), pp. 47–57. doi: 10.1097/00055735-200102000-00009.

Drexler, W., Morgner, U., Ghanta, R.K., Kärtner, F., Schuman, J.S. and Fujimoto, J.G., (2001) Ultrahigh-resolution ophthalmic optical coherence tomography, *Nature Medicine*, 7(4), pp. 502–507. doi: 10.1038/86589.

Fercher, A. F., Mengedoht, K. and Werner, W. (1988) Eye-length measurement by interferometry with partially coherent light, *Optics Letters*, 13(3), p. 186. doi: 10.1364/OL.13.000186.

Forlini, M., Soliman, W., Bratu, A., Rossini, P., Cavallini, G.M. and Forlini, C. (2015) Long-term follow-up of retropupillary iris-claw intraocular lens implantation: a retrospective analysis, *BMC Ophthalmology*, 15(1), p. 143. doi: 10.1186/s12886-015-0146-4.

Gabriele, M. L., Wollstein, G., Ishikawa, H., Kagemann, L., Xu, J., Folio, L.S. and Schuman, J.S. (2011) Optical Coherence Tomography: History, Current Status, and Laboratory Work, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 52(5), p. 2425. doi: 10.1167/iovs.10-6312.

Gekeler, K. and Gekeler, F. (2015) Sekundäre Linsenimplantation, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 232(08), pp. 1003-1022. doi: 10.1055/s-0033-1358165

Heidelberg Engineering GmbH (2013) Die perfekte Anwendung der Messwerkzeuge [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [https://www.heidelbergengineering.com/media/pdf-tutorials/93718-001\\_SPECTRALIS-ASM\\_How-to-Guide\\_How\\_to\\_use\\_the\\_measurement\\_tools\\_DE.pdf](https://www.heidelbergengineering.com/media/pdf-tutorials/93718-001_SPECTRALIS-ASM_How-to-Guide_How_to_use_the_measurement_tools_DE.pdf).

Heidelberg Engineering GmbH (2017) Die perfekte Aufnahme [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [https://www.heidelbergengineering.com/media/pdf-tutorials/99944-006\\_SPECTRALIS-HRA+OCT\\_How-to-Guide\\_How\\_to\\_acquire\\_the\\_perfect\\_image\\_DE.pdf](https://www.heidelbergengineering.com/media/pdf-tutorials/99944-006_SPECTRALIS-HRA+OCT_How-to-Guide_How_to_acquire_the_perfect_image_DE.pdf)

Heidelberg Engineering GmbH (2015) Bildgebungsplattform für Netzhaut und Glaukom [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [https://media.heidelbergengineering.com/uploads/Products-Downloads/200073-001\\_SPECTRALIS\\_Broschure\\_2015\\_DE.pdf](https://media.heidelbergengineering.com/uploads/Products-Downloads/200073-001_SPECTRALIS_Broschure_2015_DE.pdf)

Gonnermann, J., Klamann, M., Maier, A.K., Jousen, A.M., Bertelmann, E., Rieck, P. and Torun, N. (2012a) Ergebnisse einer irisfixierten Hinterkammer-Intraokularlinse (inverse Verisyse®), *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 229(S 02). doi: 10.1055/s-0032-1331531.

- Gonnermann, J., Klamann, M., Maier, A.K., Rjasanow, J., Jousen, A.M., Bertelmann, E., Rieck, P. and Torun, N. (2012b) Visual outcome and complications after posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation, *Journal of Cataract & Refractive Surgery. ASCRS and ESCRS*, 38(12), pp. 2139–2143. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.07.035.
- Gonnermann, J., Torun, N., Klamann, M., Maier, A.K., Sonnleithner, C., Jousen, A.M., Rieck, P. and Bertelmann, E. (2013) Visual outcomes and complications following posterior iris-claw aphakic intraocular lens implantation combined with penetrating keratoplasty, *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 251(4), pp. 1151–1156. doi: 10.1007/s00417-012-2226-y.
- Gonnermann, J., Amiri, S., Klamann, M., Maier, A.K., Jousen, A.M., Rieck, P., Torun, N. and Bertelmann, E. (2014) Endothelzellverlust nach retropupillar fixierter Irisklauen-Linse, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 231: 784-787. doi: 10.1055/s-0034-1368453.
- Götze, A. (2017) Die optische Kohärenztomographie zur Diagnostik früher neurodegenerativer Veränderungen der Retina bei pädiatrischen Patienten mit einem Diabetes mellitus Typ 1 oder einer chronischen Nierenerkrankung [Dissertation]. Rostock: Fachbereich Medizin der Universität Rostock.
- Gouvianakis, A. (2007) Intraoperative und frühe postoperative Komplikationen bei Katarakt-Operationen mit begleitendem Pseudoexfoliations-Syndrom [Dissertation]. Münster: Fachbereich Medizin der Universität Münster.
- Grehn, F. (2012) *Augenheilkunde*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch). doi: 10.1007/978-3-642-11333-8.
- Grulkowski, I., Gora, M., Szkulmowski, M., Gorczynska, I., Szlag, D., Marcos, S., Kowalczyk, A. and Wojtkowski, M. (2009) Anterior segment imaging with Spectral OCT system using a high-speed CMOS camera, *Optics Express*, 17(6), p. 4842. doi: 10.1364/OE.17.004842.
- Güell, J. L., Morral, M., Kook, D. and Kohnen, T. (2010) Phakic intraocular lenses, *Journal of Cataract & Refractive Surgery. ASCRS and ESCRS*, 36(11), pp. 1976–1993. doi: 10.1016/j.jcrs.2010.08.014.

Häberle, H., Schiedel, S. and Pham, D.-T. (2014) Retroiridale Irisklauenlinse als perfektioniertes Routineverfahren, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 231(10), pp. 995–998. doi: 10.1055/s-0034-1382966.

Haigis, W. (2007) Präoperative Berechnung der Stärke intraokularer Linsen bei Problemaugen, *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 17(1), pp. 45–54. doi: 10.1016/j.zemedi.2006.11.001.

Hara, S., Borkenstein, A.F., Ehmer, A. and Auffarth G.U. (2011) Retropupillary Fixation of Iris-claw Intraocular Lens Versus Transscleral Suturing Fixation for Aphakic Eyes Without Capsular Support, *Journal of Refractive Surgery*, 27(10), pp. 729–735. doi: 10.3928/1081597X-20110623-01.

Helvaci, S., Demirduzen, S. and Oksuz, H. (2016) Iris-claw intraocular lens implantation: Anterior chamber versus retropupillary implantation, *Indian Journal of Ophthalmology*, 64(1), p. 45. doi: 10.4103/0301-4738.178139.

Horstmann, J., Siebelmann, S., Schulz-Hildebrandt, H., Glasunow, I., Schadschneider, A., Hüttmann, G. (2016a) OCT verstehen – Teil 1: Physikalische Grundlagen, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 234(01), pp. 131–143. doi: 10.1055/s-0042-119126.

Horstmann, J., Siebelmann, S., Schulz-Hildebrandt, H., Glasunow, I., Schadschneider, A., Hüttmann, G. (2016b) OCT verstehen – Teil 2: Praktische Aspekte und Anwendung, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 234(02), pp. 233–247. doi: 10.1055/s-0033-1358249.

Huppelsberg, J. and Walter, K. (2013) Visuelles System [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [http://www.newbooks-services.de/MediaFiles/Texts/0/9783131534620\\_Excerpt\\_001.pdf](http://www.newbooks-services.de/MediaFiles/Texts/0/9783131534620_Excerpt_001.pdf)

Hüttmann, G., Lankenau, E., Schulz-Wackerbarth, C., Müller, M., Steven, P. and Birngruber, R. (2009) Übersicht der apparativen Entwicklungen in der optischen Kohärenztomografie: von der Darstellung der Retina zur Unterstützung therapeutischer Eingriffe, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 226(12), pp. 958–964. doi: 10.1055/s-0028-1109939.

Inhoffen, W. (2010) *Atlas des Augenhintergrundes*. Edited by H. Heimann and U. Kellner. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. doi: 10.1055/b-002-40807.

- Kanski, J. J. (2003) *Klinische Ophthalmologie: Lehrbuch und Atlas*, 5. Auflage. München: Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH.
- Kohnen, T., Strenger, A. and Klaproth, O. K. (2008) Basiswissen refraktive Chirurgie, *Deutsches Aerzteblatt Online*, 105, pp. 163–173. doi: 10.3238/arztebl.2008.0163.
- Konstas, A., Dimitracoulias, N. and Konstas, P. (1993) Exfoliationssyndrom und Offenwinkelglaukom, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 202(04), pp. 259–268. doi: 10.1055/s-2008-1045591.
- Koss, M. J. and Kohnen, T. (2009) Intraocular architecture of secondary implanted anterior chamber iris-claw lenses in aphakic eyes evaluated with anterior segment optical coherence tomography, *British Journal of Ophthalmology*, 93(10), pp. 1301–1306. doi: 10.1136/bjo.2008.148726.
- Kuchenbecker, J. (2017) Spontane IOL-Dislokation – was können wir tun zur Prävention?, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 234(12), pp. 1519–1523. doi: 10.1055/s-0043-119691.
- Kumar, D. A., Agarwal, A., Prakash, G., Jacob, S., Saravanan, Y. and Agarwal, A. (2011) Evaluation of Intraocular Lens Tilt With Anterior Segment Optical Coherence Tomography, *American Journal of Ophthalmology*. Elsevier Inc., 151(3), pp. 406–412.e2. doi: 10.1016/j.ajo.2010.09.013.
- Maloney, R., Nguyen, L.H. and John, M.E. (2002) Artisan® phakic intraocular lens for myopia Short-term results of a prospective, multicenter study, *Ophthalmology*, 109(9), pp. 1631–1641. doi: 10.1016/S0161-6420(02)01170-3.
- Mennel, S., Hörle, S. and Schmidt, J. (2007) Retropupillare Fixation einer Irisklauenlinse oder skleranahtfixierte Intraokularlinse?, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 224(S 2), pp. 339–342. doi: 10.1055/s-2007-976291.
- Mohr, A., Hengerer, F. and Eckardt, C. (2002) Retropupillare Fixation der Irisklauenlinse bei Aphakie Einjahresergebnisse einer neuen Implantationstechnik, *Der Ophthalmologe*, 99(7), pp. 580–583. doi: 10.1007/s00347-001-0563-z.
- Morshed, A. M., Aldeeb, M.N., Abdeen, A.K. and Almosalamy, S.M. (2019) Y-Shaped Intra-Scleral Fixated Lens versus Retro-Pupillary Iris Claw Lens in the Treatment of Aphakia, *Open Journal of Ophthalmology*, 09(02), pp. 105–124. doi: 10.4236/ojoph.2019.92012.

Nobl, M. and Mackert, M. (2019) Pseudoexfoliationssyndrom und Glaukom, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 236(09), pp. 1139–1155. doi: 10.1055/a-0972-4548.

Oculus Optikgeräte GmbH (2019) Pentacam Interpretationsleitfaden, 3. Auflage [zitiert am 9. Mai 2020]. URL:

[https://www.pentacam.com/fileadmin/user\\_upload/pentacam.de/downloads/interpretations-leitfaden/pentacam\\_interpretationsleitfaden\\_3rd\\_0416\\_k.pdf](https://www.pentacam.com/fileadmin/user_upload/pentacam.de/downloads/interpretations-leitfaden/pentacam_interpretationsleitfaden_3rd_0416_k.pdf)

Ophtec BV (2010) Artisan® Aphakia IOL Training Manual, 2010 [zitiert am: 9. Mai 2020]. URL: <http://www.coflent.com.ec/archivos/ficha/Manual de entrenamiento Artisan Aphakia.pdf>

Ophtec GmbH (2018) Die Iris, Artisan®/Artiflex®, [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <https://de.ophtec.com/produkte/refraktive-chirurgie/p-iols/artiflex-toric>

Ophtec GmbH (2021) Die Iris, Artisan®/Artiflex®, [zitiert am 25. März 2021]. URL: <https://de.ophtec.com/produkte/refraktive-chirurgie/instrumente>

Ortiz, S., Perez-Merino, P., Duran, S., Velasco-Ocana, M., Birkenfeld, J., de Castro, A., Jimenez-Alfaro, I. and Marcos, S. (2013) Full OCT anterior segment biometry: an application in cataract surgery, *Biomedical Optics Express*, 4(3), pp. 387-396. doi: 10.1364/BOE.4.000387.

Ostovic, M. and Kohnen, T. (2011) 'Retropupillare Artisanlinsen bei Aphakie – kurzfristige Ergebnisse', pp. 247–251 [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2011/099\\_Ostovic.pdf](http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2011/099_Ostovic.pdf)

Poy Raiturcar, T., Naik, P. and Cacodcar, J. (2019) Clinical profile and visual outcome of ocular injuries presenting at a tertiary care hospital in Goa, *Journal of Clinical Ophthalmology and Research*, 7(2), p. 41. doi: 10.4103/jcor.jcor\_12\_18.

Putz, R. and Pabst, R. (2017) *Sobotta - Anatomie des Menschen*. 24. Auflage München: Elsevier

Radhakrishnan, S. (2001) Real-Time Optical Coherence Tomography of the Anterior Segment at 1310 nm, *Archives of Ophthalmology*, 119(8), p. 1179. doi: 10.1001/archopht.119.8.1179.

- Ramos, J. L. B., Li, Y. and Huang, D. (2009) Clinical and research applications of anterior segment optical coherence tomography - a review, *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 37(1), pp. 81–89. doi: 10.1111/j.1442-9071.2008.01823.x.
- Rastogi, A., Goray, A., Thacker, P. and Kamlesh, B. (2018) Assessment of the safety and efficacy of primary retropupillary fixation of iris-claw intraocular lenses in children with large lens subluxations, *International Ophthalmology*. Springer Netherlands, 38(5), pp. 1985–1992. doi: 10.1007/s10792-017-0688-y.
- Reidy, A., Minassian, D.C., Vafidis, G., Joseph, J., Farrow, S., Wu, J., Desai, P. and Connolly, A. (1998) Prevalence of serious eye disease and visual impairment in a north London population: population based, cross sectional study, *BMJ*, 316(7145), pp. 1643–1646. doi: 10.1136/bmj.316.7145.1643.
- Robert Koch Institut (2017) Blindheit und Sehbehinderung - GBE-Themenheft, Gesundheitsberichterstattung des Bundes. doi: 10.17886/RKI-GBE-2017-002.
- Ronski, S. C. (2014) Analyse der Gründe für Aphakie und Vergleich der Therapieresultate nach sekundärer, intraokularer Linsenimplantation [Dissertation]. Marburg: Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg.
- Saleh, M., Heitz, A., Bourcier, T., Speeg, C., Delbosc, B., Montard, M. and Gaucher, D. (2013) Sutureless intrascleral intraocular lens implantation after ocular trauma, *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. ASCRS and ESCRS, 39(1), pp. 81–86. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.08.063.
- Schiedel, S., Aurich, H., Häberle, H. and Pham, D.T. (2006) Komplikationsprofil nach Implantation einer retroiridalen Irisklauenlinse (Verisyse®) zur Aphakiekorrektur, pp. 123–127 [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: [http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2012/045\\_Schiedel.pdf](http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2012/045_Schiedel.pdf)
- Schlötzer-Schrehardt, U. (2010) Oxidativer Stress beim Pseudoexfoliationsglaukom, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 227(02), pp. 108–113. doi: 10.1055/s-0028-1109977.
- Schlötzer-Schrehardt, U. and Naumann, G. O. H. (2012) Pseudoexfoliationssyndrom/Glaukom, *Der Ophthalmologe*, 109(10), pp. 942–943. doi: 10.1007/s00347-012-2530-2.

- Schmidt, I., Langenbacher, A., Eppig, T. and Seitz, B. (2018) Mögliche Einflussfaktoren für die postoperative Visusprognose bei retroiridaler Irisklauenlinsenimplantation, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 235(08), pp. 885–888. doi: 10.1055/s-0043-123879.
- Schmidt, J. C., Ronski, S. C. and Mennel, S. (2008) Analyse der Gründe für Aphakie bei sekundärer Linsenoperation, pp. 93–98.
- Schmidt, J., Mennel, S. and Hörle, S. (2007) Retropupillar fixierte Verisyse® IOL bei dekompenzierter Hornhaut, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 224(S 2), pp. 349–354. doi: 10.1055/s-2007-976293.
- Schulte, E., Schumacher, U. and Schünke, M. (2009) PROMETHEUS LernAtlas der Anatomie: Kopf, Hals und Neuroanatomie. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme Verlag
- Schulze, A., Lamparter, J. and Hoffmann, E. M. (2009) Neue Möglichkeiten der hochauflösenden optischen Kohärenztomographie in der Glaukomdiagnostik, *Der Ophthalmologe*, 106(8), pp. 702–708. doi: 10.1007/s00347-009-1999-9.
- Sekundo, W., Bertelmann, T. and Schulze, S. (2014) Technik der retropupillaren Irisklauenintraokularlinsenimplantation bei Aphakie, *Der Ophthalmologe*, 111(4), pp. 315–319. doi: 10.1007/s00347-013-2852-8.
- Berufsverband der Augenärzte Deutschlands, Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft und Retinologische Gesellschaft, Qualitätssicherung der optischen Kohärenztomografie für die Diagnostik des Augenhintergrunds (2017) [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <https://www.dog.org/wp-content/uploads/2013/03/Stellungnahme-Qualitätssicherung-der-optischen-Kohärenztomografie-für-die-Diagnostik-des-Augenhintergrunds.pdf>
- Szurman, P. and Gekeler, K. (2014) Sekundäre Intraokularlinsenimplantation von Sklera-nahtfixierten Intraokularlinsen, *Der Ophthalmologe*, 111(3), pp. 217–223. doi: 10.1007/s00347-013-2847-5.
- Uthoff, D. (ed.) (2017) *Praxis der refraktiven Chirurgie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. doi: 10.1055/b-004-132241.
- Viestenz, A., Vogt, S., Langenbacher, A., Viestenz, A. and Behrens-Baumann, W. (2007) Evaluierung des vorderen Augensegments mittels optischer Kohärenztomographie, pp. 161–168 [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2007/Viestenz.pdf>

Wagoner, M. D., Cox, T.A., Ariyasu, R.G., Jacobs, D.S. and Karp, C.L. (2003) Intraocular lens implantation in the absence of capsular support, *Ophthalmology*, 110(4), pp. 840–859. doi: 10.1016/S0161-6420(02)02000-6.

Weindler, M. and Ruprecht, K. W. (2004) Lokalanästhesie in der Ophthalmochirurgie, (8).

Wirbelauer, C., Thannhäuser, C. L. and Pham, D. T. (2007) Neue diagnostische Verfahren [zitiert am 9. Mai 2020]. URL: <http://www.dgii.org/uploads/jahresband/2007/Wirbelauer2.pdf>

Wolter-Roessler, M. and Kühle, M. (2008) Ergebnisse der Aphakiekorrektur durch retroiridal fixierte Kunstlinse, *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 225(12), pp. 1041–1044. doi: 10.1055/s-2008-1027721.

Yu, A.-Y., Lin, Z-D., Chen, X-Q., Cai, X-Y., Liu, Y-Z. and Luo, S-K. (2008) Position of myopic iris-claw phakic intraocular lens by Scheimpflug photography and ultrasound biomicroscopy, *Eye. Royal College of Ophthalmologists*, 22(2), pp. 233–239. doi: 10.1038/sj.eye.6702829.

Zierhut, M. (2000) Sportverletzungen am Auge, *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, Jahrgang 51, Nr. 11, pp. 373–377.

Zuberbühler, B., Haefliger, E., Menapace, R. and Neuhann, Th. (2008) *Kataraktchirurgie*, Heidelberg: Springer Verlag. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

## 12 Danksagung

An dem Gelingen der vorliegenden Dissertation waren viele Personen beteiligt, die ich an dieser Stelle leider nicht alle persönlich nennen kann. Trotzdem möchte ich mich bei jedem Einzelnen bedanken, der mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt und in der arbeitsreichen Zeit begleitet und motiviert hat.

Ganz besonders möchte ich meinen Betreuern danken, die immer für mich da waren und mit Rat und Tat zu dem Gelingen der Arbeit in erheblichem Maße beigetragen haben.

Des Weiteren bedanke ich mich für das facettenreiche Promotionsthema, die Unterstützung bei der Akquise der Patienten für meine Messungen und die hilfreichen Tipps in der Endphase der Arbeit.

Den Statistikern danke ich für die Beratung bei der statistischen Auswertung meiner Messwerte.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeitern der Stationen der Augenklinik der Universitätsmedizin Mainz, die mich immer freundlich bei der Arbeit und Recherche vor Ort unterstützt haben. Ebenso geht mein Dank an alle Ärzte der Klinik, die die OCT-Untersuchungen durchgeführt haben, die letztlich die Basis meiner Messungen und Analysen waren.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Familie und meine Freunde, die mich zu jedem Zeitpunkt unterstützt und auch in schwierigen Phasen aufgebaut und motiviert haben.

## **Tabellarischer Lebenslauf**

### Persönliche Angaben:

*Name:* Gross  
*Vorname:* Charlotte Frederike  
*Geburtsdatum:* 03.01.1996  
*Geburtsort:* Püttlingen  
*Wohnort:* Wadgassen  
*Staatsangehörigkeit:* deutsch

### Schule:

*2001 – 2005:* Grundschule Wadgassen  
*2005 – 2008:* Robert-Schumann-Gymnasium Saarlouis  
*2009 – 2013:* Lyceum Alpinum Zuoz, Schweiz  
*Juli 2013* Deutsches Abitur, Schweizer Matura

### Studium:

*10/2013 - 03/2015:* Studium der Rechtswissenschaften, Saarbrücken  
*04/2015 - 10/2021:* Studium der Humanmedizin, Mainz  
*09/2017:* Ärztliche Vorprüfung (sehr gut)  
*10/2020:* 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (gut)  
*10/2020 - 10/2021:* Praktisches Jahr Uniklinikum Mainz, Wahlfach Gynäkologie  
*11/2021:* 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung (sehr gut)  
*seit 3/2022:* Assistenzärztin Universitätsklinikum des Saarlandes, Klinik für Frauenheilkunde, Geburtshilfe und Reproduktionsmedizin

## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere hiermit an Eides Statt, dass ich die von mir eingereichte Dissertation bzw. die von mir namentlich gekennzeichneten Teile selbstständig verfasst und ausschließlich die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Wadgassen, den 17.03.2022

*Ch Gross*